

Aus der Medizinischen Universitätspoliklinik Basel
und dem Sanatorium Erzenberg (Langenbruck)

Messungen der Zwerchfellbewegung am Röntgenschirm

in Bezug auf die vier Hauptdehnungslagen
der Lunge (bei Gesunden und Kranken)

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von
Peter Schamböck
von Basel

Basel 1953

Buchdruckerei Brin AG. Basel

Von der Medizinischen Fakultät genehmigt
auf Antrag von Professor Dr. A. Gigon,
Vorsteher der Medizinischen Universitätspoliklinik Basel.

Tag der Promotion: 20. Februar 1953

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. A. Gigon und Herrn
Dr. A. Christ für ihre Unterstützung bei dieser Arbeit danken.

Aus der Medizinischen Universitätspoliklinik Basel
und dem Sanatorium Erzenberg (Langenbruck)

Messungen der Zwerchfellbewegung am Röntgenschirm

in Bezug auf die vier Hauptdehnungslagen
der Lunge (bei Gesunden und Kranken)

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Peter Schamböck

von Basel

Basel 1953

Buchdruckerei Brin AG. Basel



Inhalt

Einleitung	5
Stand und Bewegung des Zwerchfells . . .	6
Die Rolle des Zwerchfells bei der Atmung . .	13
Definitionen	20
Methodik	21
Kritik der Methodik	23
Messungen und Resultate	26
Zusammenfassung	44
Literaturverzeichnis	45



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548218_0039

Einleitung

Bei der dorsoventralen Durchleuchtung des Thorax wird das Zwerchfell als doppelt bogenförmiger Schatten auf den Schirm geworfen. Die rechte Hälfte des Zwerchfells ist vom Leberschatten nicht zu unterscheiden, währenddem die linke Hälfte bei Gasgehalt im Abdomen als schmales Band erscheinen kann. Nach cranial sind beide Zwerchfellbogen gegen die Lungenfelder scharf abgesetzt, die mediale sattelartige Partie ist gewöhnlich vom Mediastinal- und Leberschatten nicht zu unterscheiden. Während der Atmung bewegen sich beide Zwerchfellbogen fast synchron auf und ab. Dem häufig durchleuchtenden Lungenarzt erscheint dieser auf- und absteigende Doppelschatten täglich auf dem Leuchtschirm. Trotzdem ist in der Literatur relativ wenig über die Bewegung des Zwerchfells zu finden, und besonders selten werden genauere Massangaben darüber gemacht. Fast hat man den Eindruck, dass in früheren Zeiten mehr Wert auf die Beobachtung des Zwerchfells gelegt wurde als heute; wurde doch damals das Gerhardt-Litten'sche Phaenomen fast genauer untersucht als die Zwerchfellbewegung mit der modernen Röntgentechnik.

Trotz langer Übung ist es schwierig, den Ablauf und das Ausmass der Zwerchfellbewegung bei der blossen Beobachtung des Schirmbildes zu erfassen. Allein schon die Bewegung der Rippen beim Atmen kann das Auge bei der Beurteilung der Zwerchfellbewegung täuschen. Zur genauen Registrierung des Bewegungsablaufs bedient man sich der Kymographie und der Röntgenkinematographie. Ferner liegen quantitative Messungen der Zwerchfellbewegung mittels Fernaufnahme und Orthodiagraphie vor (De la Camp, F. Jamin). Alle diese Verfahren können nur in speziellen Fällen angewandt werden, sind aber für den Gebrauch in grösserem Masstab zu umständlich und kostspielig. Am einfachsten und für die Reihenuntersuchung geeignet ist die Beobachtung und Messung der Zwerchfellbewegung bei der gewöhnlichen Durchleuchtung. Leider tritt bei diesem Verfahren auch der grösste Messfehler auf, der aber für meine Zwecke nicht grob störend wirkt und sich wenn nötig durch Berechnung zum grossen Teil ausgleichen lässt.

In dieser Arbeit sollen durch eine möglichst exakte Messmethode die Bewegungsverhältnisse am Zwerchfell untersucht werden. Dabei muss man sich immer die eine Tatsache vor Augen halten,

dass der Standort und die Bewegung des Zwerchfells von einer grossen Anzahl ganz verschiedenartiger Faktoren abhängig sein kann, welche oft schwer zu erfassen sind. Die Deutung und Erklärung der Bewegungsgrössen des Zwerchfells bleibt in den meisten Fällen fraglich. Trotzdem muss es gelingen, über Vermutungen hinaus zu einiger Gewissheit zu gelangen, wenn sich eine Vermutung am gesammelten Material öfters bestätigt oder wenn sie mit physiologischen oder klinischen Erfahrungen übereinstimmt, die auf anderem Gebiet schon gewonnen wurden.

Ist die Physiologie der Zwerchfellbewegung zum Teil noch unklar, so gilt das noch mehr von der Pathologie. Es ist eine Erfahrung, die schon häufig gemacht wurde, dass physiologische Verhältnisse oft erst durch pathologische Zustände erkennbar und verständlich werden. Wenn also in dieser Arbeit Kranke und zwar meistens Patienten mit Lungentuberkulose untersucht wurden, können trotzdem auch Einblicke in die Physiologie der Zwerchfellbewegung erwartet werden. Zum anderen Teil sollen aber die vorliegenden Messungen auch um einen kleinen Schritt eindringen in das grosse Gebiet, von dem H. Eppinger schreibt: «Es gibt zahlreiche pathologische Zustände, sowohl des Thorax als auch des Abdomens, die den Ablauf der Zwerchfellbewegungen wesentlich beeinträchtigen.»

Zugleich können die Messresultate an sich eine Kontrolle und ein Urteil über die Genauigkeit und die Brauchbarkeit der angegebenen Methode erlauben.

Stand und Bewegung des Zwerchfells

Das Zwerchfell ist mit seinen drei Anteilen, der pars lumbalis, der pars costalis und der pars sternalis eingespannt in einen Rahmen, der gebildet wird durch die Wirbelsäule, die Rippen und das Sternum. Bis zu einem gewissen Grade erhält es durch die Mediastinalorgane eine weitere Fixation. Stand und Bewegung des Zwerchfells stehen unter dem Einfluss eines veränderlichen Kräftespieles. Einen Einblick in dieses Kräftespiel erhält man nur, wenn man jede Kraft einzeln in ihrer Wirkung auf das Zwerchfell betrachtet. In der Hauptsache können folgende Kräfte auf das Zwerchfell einwirken:

1. Eigenkräfte der Zwerchfellmuskulatur, die tangential zum jeweiligen Abschnitt des Zwerchfellgewölbes gerichtet sind. Betrachtet man das Zwerchfell schematisch als Halbkugel, so sind die Resultanten der tangentialen Kräfte gegen den Mittelpunkt gerichtet und bestrebt, die Halbkugel zu verkleinern. Sind die Ansatzpunkte des Zwerchfells starr, so bewegen sich seine Kuppeln

bei aktiver Muskelkontraktion, entsprechend der Verkleinerung der Halbkugel, in caudaler Richtung.

Wenn im Pneumothorax ein grösserer Flüssigkeitserguss auftritt, kann das Zwerchfell nach caudal ausgebuchtet werden. Dabei kommt es vor, dass die Oberfläche des Ergusses bei der Atmung paradoxe Bewegungen aufweist. L. Hofbauer führt diese Erscheinung darauf zurück, dass sich das nach unten ausgebuchtete Zwerchfell bei inspiratorischer Anspannung seiner Muskulatur in cranialer Richtung bewege. Die Bewegungsrichtung des Zwerchfells bei der Kontraktion seiner Muskulatur hängt also von der jeweiligen Form ab.

Die Gesetze, denen die Eigenkräfte des Zwerchfells unterworfen sind, konnten erst in neuerer Zeit im Tierversuch teilweise geklärt werden.

2. Der Druck im Thoraxraum. Massgebend ist vor allem der im Pleuraraum herrschende Druck. Druck ist Kraft pro Fläche. Jede Kraft hat eine Richtung. Praktisch spielen folgende zwei Richtungen eine Rolle:
 - a) Bei Druckvermehrung treten am Zwerchfell nach caudal gerichtete Kräfte auf.
 - b) Bei Druckverminderung treten nach cranial gerichtete Kräfte auf.
3. Der Druck im Bauchraum. Auch er kann auf das Zwerchfell im wesentlichen eine nach cranial und eine nach caudal gerichtete Kraft ausüben.
4. Die Schwerkraft. Das Eigengewicht des Zwerchfells und das Gewicht der an ihm fixierten Eingeweide üben am stehenden Menschen eine nach caudal gerichtete Kraft aus.
5. Durch Verschiebung der Insertionsstellen des Zwerchfells können auf dieses selbst Kräfte ausgeübt werden. Von den die Insertionsstellen verschiebenden Kräften sind als die praktisch wichtigsten hervorzuheben:
 - a) Von der Körperachse zentrifugal weggerichtete Kräfte. Diese entfernen die Insertionsstellen des Zwerchfells von einander und üben dadurch eine Flächenspannung auf dieses aus;
 - b) Zentripetal gegen die Körperachse gerichtete Kräfte. Diese nähern die Insertionsstellen des Zwerchfells einander. Sie entspannen die Zwerchfellkuppel.

Wirkt eine Kraft auf einen Körper ein, so kann sie ihn in Bewegung setzen. Die Richtung der Kraft bestimmt die Richtung der Bewegung. Wirken mehrere Kräfte auf einen Körper ein, so ergibt sich aus diesen einzelnen Kräften eine Resultante entsprechend dem

Vektordiagramm. Erreicht die Resultante den Wert Null, so befindet sich der unter ihrem Einfluss stehende Körper in Ruhe. Auf das Zwerchfell übertragen bedeutet das, dass es sich in Ruhe befindet, wenn sich alle an ihm angreifenden Kräfte gegenseitig aufheben. Erreicht die Resultante eine bestimmte Grösse, so treibt sie das Zwerchfell in ihrer Richtung so lange vorwärts, bis wieder ein neues Gleichgewicht hergestellt ist. Untersucht man die Bewegungen des Zwerchfells, so muss man auch berücksichtigen, dass es kein starrer, sondern ein deformierbarer Körper ist. Da in den meisten Fällen an seiner Oberfläche ziemlich homogene Druckverhältnisse herrschen, genügt es, wenn man das Zwerchfell als elastische Membran von doppelt kuppelförmiger Gestalt auffasst, die nur gering deformiert wird.

Was die im Thoraxraum wirkenden Kräfte anbelangt, ist hervorzuheben, dass in neuerer Zeit eine muskuläre Kontraktilität der Lunge nachgewiesen werden konnte, wodurch die Lunge selbst aktiv ihre Retraktionskraft ändern kann. Beobachtungen von plötzlich auftretenden Atelektasen, wie sie z. B. bei Pneumothoraxanlage oder postoperativ vorkommen können, haben zum Begriff der Kontraktionsatelektase geführt, die offenbar reflektorisch durch eine Kontraktion der Lungenmuskulatur ausgelöst wird. (Untersuchungen von Viola, Parodi, Perelmann, A. Sturm u. a.). Während bis in die neuere Literatur die Lehre zu verfolgen ist, dass die Lunge in sich selbst keine Möglichkeit besitze, ihre Räumigkeit aktiv zu verändern, ist neuerdings an einer aktiven muskulären Kontraktilität der Lunge kaum mehr zu zweifeln, wenn auch der histologische Nachweis einer Lungenmuskulatur noch nicht ganz eindeutig anerkannt wird. Beim Atemvorgang hat diese neue Erkenntnis vor allem die Auffassung über die Ausatmung geändert. Während früher die Elastizität des Lungengewebes und des Thorax sowie die Schwerkraft als wichtigste Faktoren der Ausatmung betrachtet wurden, gilt neuerdings die glatte Muskulatur der Lunge als wichtigste aktive Komponente. Bei Berücksichtigung dieser Erkenntnis liegt die Annahme nahe, dass der Aufstieg des Zwerchfells in cranialer Richtung bei der Ausatmung durch diese aktive Kontraktion der Lunge mitbestimmt werde. Ferner besteht überhaupt die Möglichkeit, dass die Lunge durch Änderung ihrer muskulären Spannung den Zwerchfellstand und die Zwerchfellbewegung merkbar beeinflussen kann.

Leider sind selten genaue Angaben über den Stand und die Bewegung des Zwerchfells zu finden. Unter Zwerchfellstand im allgemeinen versteht man meistens die Stellung, die das Zwerchfell bei ruhiger Atmung einnimmt. Wie dies in einzelnen Arbeiten geschieht, möchte ich auch hier den Zwerchfellstand im engeren Sinne noch

genauer definieren als denjenigen Stand, den es am Ende einer ruhigen Ausatmung einnimmt. Dieser Zwerchfellstand bildet dann ein Analogon zur Ruhelage der Lunge und zur Mittellage des Thoraxumfanges.

Beim senkrecht stehenden Menschen steht der Scheitel der rechten Zwerchfellkuppel am häufigsten in der Höhe des dorsalen Abschnittes des 9. Intercostalraumes (H. R. Schinz, K. Hitzenberger u. a.), er kann aber normalerweise auch die 10. Rippe erreichen. Diese Angabe findet sich auch in den meisten Beschreibungen über das Zwerchfell. Ein genaues Bezugssystem, an dem man schon kleinste Veränderungen des Zwerchfellstandes erkennen könnte, liefern die Rippen allerdings nicht. Da röntgenologisch nachgewiesen werden kann, dass die obere Grenze der Lungenfelder bei der Atmung nicht verschoben wird, hat F. Jamin für seine orthodiagraphischen Zwerchfellmessungen die absolute Höhe der Lungenfelder in Millimeter benützt, um den Zwerchfellstand zu bestimmen. Diese Methode ist wohl eine der genauesten und sehr geeignet für vergleichende Messungen unter verschiedenen Bedingungen. Aber auch bei dieser genauen Methode bleibt noch eine Ungenauigkeit, wenn man in zeitlichen Abständen vergleichende Messungen am Zwerchfell ausführen will. Diese Ungenauigkeit liegt aber im Objekt selbst. Die Atembewegung des Zwerchfells ist stets mehr oder weniger grossen Schwankungen unterworfen, und das Zwerchfell erreicht am Ende einer bestimmten Atemphase nicht jedesmal genau die gleiche Stellung. Bei vergleichenden Messungen des Zwerchfellstandes zu verschiedenen Zeiten bei einer bestimmten Person sollten darum die Atemexcursionen bei allen Messungen möglichst gleich geblieben sein. Bei einer Angabe über den Zwerchfellstand sollte eigentlich immer auch die Grösse der Atemexcursion erwähnt werden.

Bei der ruhigen Atmung bewegen sich die beiden Zwerchfellbögen im Insp. in caudaler Richtung, im Expirium in cranialer Richtung. Bei maximaler Ausatmung steigen sie noch weiter nach cranial und bei maximaler Einatmung können sie sich noch weiter in caudaler Richtung bewegen als bei ruhiger Einatmung. Bei der Durchleuchtung im seitlichen Strahlengang kann man leicht erkennen, dass sich die dorsalen Zwerchfellteile meistens um einen grösseren Betrag bewegen als die ventralen. Der höchste Punkt des Zwerchfellscheitels liegt der vorderen Thoraxwand näher als der hinteren. Bei maximaler Einatmung kann der Scheitel des Zwerchfells fast ruhig stehen oder sogar in cranialer Richtung statt in caudaler sich bewegen. Es ist dabei im seitlichen Strahlengang zu erkennen, dass sich die dorsalen Zwerchfellteile in caudaler Richtung bewegen. Eine solche Atembewegung des Zwerchfells wird als pseu-

doparadox bezeichnet, weil sich in Wirklichkeit nur die ventralen Teile des Zwerchfells aufwärts bewegen, während die hinteren Teile absteigen (De la Camp, F. Jamin).

K. Hitzenberger erwähnt die pseudoparadoxe Bewegung in der Beschreibung der Zwerchfellbewegung bei ruhiger Atmung. Sowohl die Ein- als auch die Ausatemungsbewegung müsste dann gerade entgegengesetzt gerichtet sein als dies gewöhnlich der Fall ist. Bei ruhiger Atmung konnte ich allerdings nie eine solche Bewegung beobachten, dagegen nicht so selten bei maximaler Einatmung.

Es wird meistens angenommen, dass die pseudoparadoxe Bewegung eine durch die Hebung der Rippen und des Sternums dem ventralen Teil des Zwerchfells mitgeteilte Bewegung sei. Das gleiche Phaenomen ist wohl auch gemeint, wenn H. Eppinger schreibt: «Neben den aktiven Bewegungen des Zwerchfells, welche auf Eigenzusammenziehungen beruhen, und sich durch Tiefertreten der Zwerchfellkuppeln äussern, haben wir auch die passiven zu berücksichtigen, die auf das während jeder Inspiration auftretende Höherücken der Rippen zu beziehen sind.» So konnte ich auch bei verschiedenen Personen eine Hebung der Zwerchfellbogen um 1 bis 4 cm beobachten, wenn ich sie aufforderte, ohne Einatmung bei geschlossener Glottis die Rippen maximal zu heben. Auf der anderen Seite kann man aber auch durch Faustdruck ins Abdomen oder durch Einsatz der Bauchpresse bei geschlossener Glottis eine deutliche Hebung des Zwerchfells erreichen. Schliesslich gibt es Leute, die bei der Aufforderung maximal einzuatmen, den Bauch einziehen. Auch dadurch kann eine pseudoparadoxe Bewegung zustande kommen.

Angaben über die Bewegungsgrösse des Zwerchfells bei den verschiedenen Atemphasen sind in der Literatur sehr spärlich zu finden, und wo solche Angaben gemacht werden, ist leider nicht immer mitgeteilt, unter welchen Bedingungen und bei welcher Strahlenprojektion die Zahlen gemessen wurden. Vergleicht man solche Messungen der Zwerchfellexcursionen miteinander, so ergeben sich ziemlich grosse Unterschiede.

F. Jamin: «Bei ruhiger Atmung beobachtet man im Röntgenbilde eine gleichmässige Senkung der Zwerchfellkuppeln um 1 bis 2 cm.» Und weiter «... Die absolute inspiratorische Senkung der Zwerchfellkuppeln bei tiefer Atmung beträgt 2—4 cm» (in: Röntgendiagnostik, von F. M. Groedel, 4. Aufl. 1924, S. 193 ff.). Leider ist nicht angegeben, von welcher Atemphase aus die absolute inspiratorische Senkung gemessen wurde, wahrscheinlich von der ruhigen Expiration aus.

K. Hitzenberger über die Durchleuchtung in posteroanteriörer Richtung: «Während der forcierten Atmung, deren Beobachtung

den zweiten Akt der Funktionsprüfung bildet, sieht man im Prinzip die selben Erscheinungen, nur sind die Excursionen grösser. Diese sind während der ruhigen Respiration von kaum wahrnehmbarer Grösse bis zu ca. 1 cm, in seltenen Fällen noch etwas mehr. Während forcierter Atmung können die Ausschläge bis zu 6 cm betragen. Je grösser, desto besser, pathologisch grosse Excursionen gibt es nicht» (in: Sonderbeilagen der Wiener klinischen Wochenschrift, Heft 17, 1924, S. 5).

E. A. Zimmer: «Die ruhige Atmung bedingt eine Respirationsverschiebung des Zwerchfellgebietes um 1—2 cm, ohne wesentlichen Ortswechsel der Sinus. Bei tiefer Atmung beträgt der Ausschlag 2—4 cm, wobei gleichzeitig eine Verschiebung der Sinus resultiert» (in: Die Durchleuchtungstechnik der Thoraxorgane, S. 39).

H. R. Schinz u. a.: «Die Excursionsbreite des Zwerchfells beträgt im Stehen bei ruhiger Atmung bei Männern durchschnittlich 2 bis 3 cm, bei tiefer (vorwiegend diaphragmaler) Atmung 5 cm und mehr» (in: Lehrbuch der Röntgendiagnostik, 4. Aufl., S. 1045).

A. Gigon: «Die Amplitude des Zwerchfells bei ruhiger Atmung ist stets grösser als die des Brustkorbes und beträgt am Röntgenbildschirm im Minimum 1 cm. Die Maximalamplitude beim Zwerchfell beträgt 6—10 cm» (in: Bulletin der schweizerischen Akademie der medizinischen Wissenschaften, Vol. 7, 1951, Fasc. 1, S. 61).

Eine Ruheatmung, die kleiner als 1 cm oder gar von kaum messbarer Grösse ist, muss nach meinen Erfahrungen fast immer pathologisch bedingt sein, während 2—3 cm als Durchschnitt sicher zu hoch gegriffen ist. Es ist möglich, dass unter tiefer Atmung nicht das gleiche verstanden wird, wie unter maximaler Ein- und Ausatmung. Um eindeutige und vergleichbare Anhaltspunkte zu erhalten, sollte man aber unter beidem nur eine äusserst tiefe Ein- und Ausatmung verstehen, welche die grösste Amplitude des Zwerchfells liefert. Nur dann lässt sich entscheiden, ob diese in einem Fall zu klein, sehr gross oder durchschnittlich ist. Eine Maximalamplitude von nur 2 bis 4 cm kommt nur unter pathologischen Bedingungen vor. Im Durchschnitt beträgt sie beim Gesunden 6—10 cm.

Noch schwieriger ist es, Angaben über das Grössenverhältnis der verschiedenen Zwerchfellexcursionen zueinander zu finden. Eine Angabe im Lehrbuch von H. R. Schinz lautet: «Geht man von der Ruhelage des Zwerchfells aus und misst die Excursionsbreite bei tiefer In- und tiefer Expiration, so beträgt das Verhältnis der Zahlen bei normalem Zwerchfellstand 1 : 2, beim Zwerchfelloberstand 1 : 1 und beim Zwerchfelltiefstand 1 : 5.» Nach meinen Erfahrungen kann beim gesunden mit «normalem» Zwerchfellstand kein allgemein gültiges Verhältnis der Excursionsbreite bei tiefer In- und tiefer Expiration festgestellt werden, sondern das Verhältnis ist in-

dividuell sehr verschieden, aber bei einer bestimmten Person mehr oder weniger konstant und typisch. Man kann zwei extreme Typen unterscheiden, beim einen besteht eine grosse expiratorische neben einer kleinen inspiratorischen Excursion, der andere weist eine grosse inspiratorische aber eine kleine expiratorische Excursion auf. Das erstgenannte Verhältnis kommt häufig beim vorwiegend leptosomen, das letztgenannte beim vorwiegend pyknischen Körperbautypus vor.

Ändert sich der Zwerchfellstand ein- oder doppelseitig, so kann an dem betreffenden Zwerchfell eine charakteristische Änderung im Verhältnis der inspiratorischen und expiratorischen Zwerchfellexcursion auftreten. Aus einem gefundenen Verhältnis kann aber nicht ohne weiteres auf einen Zwerchfellohoch- oder Tiefstand geschlossen werden, wenn nicht das Verhältnis bei gewöhnlichem Zwerchfellstand des Individuums bekannt ist. Da der absolute Zwerchfellstand schwer zu ermitteln ist, kann das Verhältnis der Zwerchfellexcursionen immerhin einen wichtigen Hinweis auf den Stand des Zwerchfells darstellen. Im allgemeinen kann bei nicht eingeschränkter Totalexcursion ein Zwerchfelltiefstand angenommen werden, wenn die inspiratorische Excursion klein, die expiratorische gross ist, ein Zwerchfellohochstand, wenn das Verhältnis umgekehrt ist, allerdings immer unter dem Vorbehalt, dass es Personen gibt, die bei für sie selbst ganz normalem Zwerchfellstand schon solche Verhältnisse aufweisen.

Während Brustwand und Zwerchfell die äussere Wandung der Thoraxhöhle bilden, ist der Raum selbst wieder durch biegsame weiche Membranen unterteilt. Wie die Durchleuchtung und das Kymogramm zeigen, bilden die Lappengrenzen mechanisch eine Trennschicht. Der Ober- und Mittellappen bewegt sich mit den Rippen, der Unterlappen mit dem Zwerchfell. Eine wichtige Trennschicht zwischen rechter und linker Thoraxhälfte bildet das Mediastinum. Zwerchfell, Brustwand und Mediastinum stehen in einer gegenseitigen funktionellen Beziehung, die nicht immer leicht zu verstehen ist. Diese Kammerung der Brusthöhle bringt es mit sich, dass darin ganz ungleiche Druckverhältnisse herrschen können, weil die Membranen einen völligen Druckausgleich verhindern. So kann z. B. ein abgesackter Erguss unter hohem Druck stehen, der sich als Wandspannung auf die begrenzende Lungenoberfläche und auf die Brustwand auswirkt, wo ein so rasches Druckgefälle entstehen kann, dass die übrigen Druckverhältnisse im Thoraxraum nur wenig beeinflusst werden. Es hängt ganz von der anatomischen und physiologischen Beschaffenheit der Thoraxorgane ab, welche direkten und entfernten Auswirkungen auf die Lage und die Bewegung der verschiedenen Organe eine bestimmte lokale Druckänderung hat. So kann z. B.

eine kleine Atelektase in den basalen Lungenpatien eine Ausziehung der Zwerchfelloberfläche bewirken, die nicht etwa auf entzündlichen Adhäsionen beruht (W. S. Middleton, E. Saupe). Andererseits kann eine Oberlappenatelektase ohne wesentlichen Einfluss auf das Zwerchfell sein. Es ist wichtig, bei der Beurteilung von Zwerchfellstand und Bewegung auch auf Verlagerung und Bewegung der übrigen Thoraxorgane zu achten.

Die Rolle des Zwerchfells bei der Atmung

Bei der Atmung nimmt der Rauminhalt der Lunge zu und ab. Das geschieht einerseits durch Erweiterung und Verengerung des Thorax, andererseits durch Ab- und Aufwärtsbewegung des Zwerchfells. Die untere Thoraxpartie ändert ihr Ausmass vor allem in seitlicher Richtung, die obere in dorsoventraler, weil die Drehachsen der oberen Rippen mehr frontal, die der unteren mehr sagittal verlaufen. Es ist schwer festzustellen, welchen jeweiligen Anteil die Zwerchfellbewegung einerseits, die Thoraxbewegung andererseits an einer Volumänderung der Lunge hat. Jede Bewegung des Thorax oder Zwerchfells ist untrennbar mit einer Bewegung der Lunge verbunden. Nach H. U. Rosemann erfolgt die Erweiterung des Brustkorbes während der gewöhnlichen ruhigen Atmung zu etwa $\frac{2}{3}$ durch Hebung der Rippen und zu etwa $\frac{1}{3}$ durch Senkung des Zwerchfells.

Die praktische Erfahrung spricht zwar eher für ein anderes Verhältnis, da das Bandmass am Thorax bei ruhiger Atmung fast keinen Ausschlag zeigt, während die Amplitude des Zwerchfells am Röntgenschirm im Minimum 1 cm beträgt. So schreibt L. Hofbauer: «Vielmehr bewegen sich, wie Sibson, Ranson und Hutchinson durch Messung der respiratorischen Ausschläge konstatieren konnten, bei der ruhigen unbeeinflussten Atmung fast ausschliesslich die caudalen Anteile des Thorax, in erster Linie das Zwerchfell, während die oberen kephalen Brustwandabschnitte nahezu vollkommen ruhig stehen bleiben.»

Je nach dem Vorwiegen der Rippen- oder der Zwerchfellbewegung wird ein costaler und ein diaphragmaler Atemtypus unterschieden. Vorwiegend diaphragmale Atmung soll bei kurzem gedrungenem Körperbau und bei Fettleibigen vorkommen. Bei leptosomem Körperbau soll der costale Atemtypus vorwiegen, bei tiefstehendem Zwerchfell, das nur kleine Atemexcursionen und häufig pseudoparadoxe Bewegungen ausführt.

Der mechanische Atemvorgang kann zur Hauptsache auf zwei verschiedene Arten beobachtet und gemessen werden, entweder

durch Messung des Luftvolumens im Spirometer oder durch Messung aller Thoraxwandungen mit dem Längen- oder Flächenmass. Ein Mass für die Atmung ist in den Dehnungslagen der Lunge gegeben. Eine genaue Beschreibung der Dehnungslagen gibt F. Rohrer und hebt die drei wichtigsten hervor, nämlich die Ruhelage als diejenige Dehnungslage, welche am Ende der Ausatmung bei ruhiger Atmung vorliegt, und die beiden äussersten aktiven Dehnungslagen bei maximaler Inspiration und bei maximaler Expiration.

Wäre nun der Thoraxraum ein einfacher und regelmässiger geometrischer Körper, z. B. eine Kugel oder ein Zylinder, so wäre es ein leichtes aus der jeweiligen Änderung des Umfanges, bzw. der Länge oder des Radius dieses Körpers das Volumen genau zu berechnen. Der Thorax ist aber ein unregelmässiger geometrischer Körper, dessen Inhalt aus Längen- und Umfangmassen sehr schwer zu berechnen ist. Bei solchen Messungen am Thorax muss man sich immer darüber im klaren sein, dass keine gleichmässige mathematische Beziehung zwischen dem linearen und dem räumlichen Mass während der Bewegung der Thoraxwandung besteht. Aber nicht nur hat der Thorax eine unregelmässige Form, er ändert ausser der Grösse auch seine Form während der Atmung. Auch das Zwerchfell geht nicht dem Kolben eines Zweitaktmotors vergleichbar auf und ab, vielmehr ändert dieser Kolben während der Atembewegung seine Oberflächenkrümmung. Schon daraus geht hervor, dass die Bewegung der Zwerchfellkuppeln nicht in einfacher Weise mit den Spirometerwerten der Lunge in Zusammenhang steht wie der Kolbenhub zum Zylinderinhalt beim Motor.

Wäre es uns möglich, aus der jeweiligen Thorax- und Zwerchfellbewegung das zugehörige Luftvolumen zu ermitteln, so könnten wir den mechanischen Atemvorgang wirklich genau erfassen. Mit der heutigen Technik sollte eine Lösung dieses Problems möglich sein, nur sind solche Verfahren zu kostspielig, als dass sie in grösserem Masstab verwendet werden könnten. Man müsste zum Beispiel bei den gewünschten Dehnungslagen der Lunge Fernaufnahmen des Thorax in ganz verschiedenen Richtungen herstellen. Diese Aufnahmen müssen dann zur Rekonstruktion eines Plattenmodells verwendet werden, welches dem Raum zwischen zwei verschiedenen Stellungen des Zwerchfells genau entspricht. Das Plattenmodell muss aus einem nicht kompressibeln, leicht deformierbaren Stoff bestehen, damit es zum Beispiel zu einem Kubus umgeformt und sein Volumen genau berechnet werden kann. Wurde die Versuchsperson gleichzeitig spirometriert, so kann durch Subtraktion des Plattenmodellvolumens vom Spirometerwert der Anteil der Thoraxbewegung am Atemvolumen berechnet werden. Mit der Plethysmographie kann die Atembewegung des Thorax volumetrisch gemessen

werden, aber damit können keine einwandfrei genauen Rückschlüsse auf das wirkliche durch die Thoraxbewegung erzielte Atemvolumen der Lunge gezogen werden.

Wie verhält sich nun das Zwerchfell bei der Atmung? Durch Messung kann bewiesen werden, dass sich die unteren Thoraxpartien, also die Gegend wo sich das Zwerchfell inseriert bei ruhiger und bei tiefer Atmung vor allem in seitlicher Richtung erweitern. Nehmen wir einmal an, dass dabei das Zwerchfell keine eigene Kontraktion ausführe, so werden somit bei der Einatmung die Zwerchfellansätze von einander entfernt, was eine Spannung auf die Kuppeln ausübt und diese tiefer treten lässt, bei maximaler Einatmung wird die Kuppel so stark gespannt, dass sie sich stark abflacht. Bei der Ausatmung werden die Ansatzpunkte am Thorax einander wieder genähert, die Kuppel wird entspannt, sie kann sich wieder stärker wölben und nach oben treten. Die vom Zwerchfell selbst ausgeübte Muskelkraft könnte bei diesem Vorgang stets gleich bleiben, und das Auf- und Absteigen der Kuppeln ohne aktive Kontraktion zustande kommen, allein nur durch Veränderung der Form, hervorgerufen durch Verlagerung der Ansatzpunkte des Zwerchfells. Der andere Extremfall wäre der, dass das Zwerchfell bei still stehender Thoraxwand durch Veränderung seiner Eigenspannung eine Verkürzung und Verlängerung seiner Muskelfasern und damit eine Formveränderung seiner Kuppel mit auf- und absteigen derselben bewirken würde. Die Atembewegung des Zwerchfells kann also prinzipiell auf zwei verschiedene Arten zustande kommen, die sich in ganz verschiedenem Verhältnis miteinander kombiniert denken lassen. Dabei ist noch die Wirkung des Bauchinhaltes, der Rumpfmuskulatur und der Retraktionskraft der Lunge zu berücksichtigen.

Die Rolle, welche das Zwerchfell bei der Atmung spielt, ist auch heute noch nicht eindeutig klar gestellt. Da die Bewegung des Zwerchfells von sehr zahlreichen Faktoren beeinflusst werden kann, ist es schwierig zu erkennen, ob es mehr aktiv oder mehr passiv an bestimmten Phasen des Atemvorganges teil nimmt.

Nach W. Felix kann das Zwerchfell bei jeder Einatmung eine doppelte Bewegung ausführen, eine aktive und eine passive: Durch Erweiterung der unteren Thoraxapertur werden die Insertionsstellen des Zwerchfells nach aussen verlagert, seine Kuppeln werden gespannt und treten passiv tiefer. Die aktive Bewegung des Zwerchfells dagegen erfolgt durch seine Kontraktion und wirkt in gleichem Sinn wie die passive. Dieser Autor ist der Ansicht, dass die Bewegung des Zwerchfells bei ruhiger Atmung, wie wir sie bei der Durchleuchtung beobachten, eine rein passive sei.

Eine andere Ansicht hat F. Rohrer, der im selben Handbuch der Physiologie schreibt: «Es ist in der Frage der aktiven Zwerchfell-

tätigkeit eine Unsicherheit eingetreten, da auch durch die Erweiterung der unteren Brustkorböffnung bei thorakaler Atmung eine passive Zwerchfellstreckung und Senkung seiner Kuppeln relativ zu den Rippen erfolgen kann. Besonders wird bei ruhiger Atmung, wo am Röntgenshirm oder orthodiagraphisch ein insp. Herabrücken der Kuppeln von 0,5 --2cm beobachtet wird, die aktive Zwerchfelltätigkeit in Frage gestellt. Diese Ansicht steht im Gegensatz zur bisher üblichen Anschauung. — Es ist folgendes zu berücksichtigen: eine aktive Hebung der Brustwand und Dehnung der unteren Brustkorböffnung wirkt als Längszug auf die Bauchwandung und den Bauchinhalt, zugleich wird der subdiaphragmale Abschnitt der Bauchhöhle erweitert. Beide Veränderungen wirken verstärkend auf die Negativität des Druckes im oberen Bauchraum, wo im Stehen durch den Gewichtszug der am Zwerchfell hängenden Organe schon normalerweise negativer Druck vorliegt. Das inspiratorische Wachsen dieser Ansaugung kann eine passive Zwerchfellsenkung relativ zum Brustkorb fördern. Die Erhöhung dieser Ansaugung wie auch die Streckung der Bauchwand durch die Hebung der Rippenbögen kann jedoch nur eine Abflachung der Vorwölbung des Abdomens und eventuell eine Einziehung der oberen epigastrischen Abschnitte bedingen. — Bei einer aktiven Zwerchfelltätigkeit sind die Verhältnisse komplizierter. Der Zug der Zwerchfellansätze am Rippenbogen ist nach oben gerichtet, solange die Zwerchfellwölbung erhalten ist, und bewirkt in beschränktem Umfange eine Hebung und Erweiterung der unteren Apertur. An der ganzen Zwerchfellfläche erfolgt dagegen in diesem Falle eine zunehmende Pressung auf den Bauchinhalt, welcher seitlich ausweichend die Bauchdecken inspiratorisch vordrängt. Eine inspiratorische Vorwölbung des Abdomens ist als sicheres Zeichen einer aktiven Zwerchfelltätigkeit aufzufassen. Die schon von Hutchinson eingehend begründete Ansicht, dass beim Manne die gewöhnliche Atmung hauptsächlich durch eine Zwerchfellaktion zustande komme, muss daher als richtig anerkannt werden.»

R. Schoen hebt in einem modernen Lehrbuch ebenfalls die aktive Kontraktion des Zwerchfells hervor: «Die Thoraxmitbewegung durch das Zwerchfell ist paradox: bei tiefer Inspiration verengt sich durch den Zwerchfellzug die untere Thoraxapertur, bei Expiration wird sie weiter. Es handelt sich um eine passive Mitbewegung mit dem Zwerchfell als Ausdruck des Überwiegens der Zwerchfellokräfte über die Thoraxmuskulatur. Beim Menschen wird sie durch das Widerlager der Bauchorgane grösstenteils kompensiert.» Auch H. U. Rosemann erwähnt die Bedeutung der Baucheingeweide: «Ausserdem kann das Zwerchfell bei stärkerer Zusammenziehung den unteren Teil des Brustkorbes auch erweitern, da die Eingeweide des

Bauches dem Druck von oben seitlich ausweichen und so die anliegende Brustwand nach aussen verschieben. Nach Entfernung der Baueingeweide werden dagegen die unteren Rippen bei der Zusammenziehung des Zwerchfells nach innen gezogen (A. v. Waller). Das Gegenlager der Eingeweide ist also für die normale Tätigkeit des Zwerchfells nötig.»

F. Jamin konnte bei einseitiger faradischer Phrenicusreizung ein maximales nach-unten-Schnellen durch stärkste Kontraktion der betreffenden Zwerchfellhälfte beobachten ohne Rippenhebung. Wurde der Phrenicus auf beiden Seiten gereizt, so wurden die unteren Rippen stärker gehoben, infolge Gegendruck des Bauchinhaltes, wie F. Jamin annimmt.

Eine neue Interpretation der Zwerchfellbewegung versucht F. Polgar zu geben. Danach sollen anatomische, tierexperimentelle und röntgenologische Untersuchungen beweisen, dass das Zwerchfell kein Inspirationsmuskel sei. Dieser Autor glaubt bewiesen zu haben, dass die Retraktionskraft der Lunge und die tangentielle Flächen-spannung des Zwerchfells während der Einatmung abnehme. Ein haltbarer Beweis für diese allen bisherigen Anschauungen über die Zwerchfellfunktion widersprechende These, welche die Galen-Duchenne'sche Lehre der Zwerchfellfunktion erschüttern soll, ist in den Ausführungen von F. Polgar allerdings nicht zu finden. So hat auch O. Wyss darauf hingewiesen, dass die von F. Polgar angegebene Ableitung seines Beweises über die Verminderung der Zwerchfellspannung im Inspirium fehlerhaft sei und den experimentellen physiologischen Untersuchungen widerspreche.

Über die Frage, ob das Zwerchfell durch seine Muskelkontraktion die untere Thoraxapertur erweitere oder verengere, stimmen die einzelnen Darstellungen zwar nicht überein, doch hängt dieser scheinbare Widerspruch offenbar nur von der Mitberücksichtigung des Abdomens ab. Über das Verhalten des Zwerchfells während der Atmung kann hingegen zur Zeit noch kein sicherer Beweis erbracht werden, da keine Methode bekannt ist, die eine direkte Messung der muskulären Spannung des Zwerchfells am unveränderten Körper erlaubt. Immerhin ermöglicht uns das Studium der Innervierungsverhältnisse der Atemmuskulatur eine Abrundung dieses Fragenkomplexes. Von grösster Bedeutung sind die Erkenntnisse über die reflektorische Steuerung des Zwerchfelltonus.

Als muskuläre Scheidewand wird das Zwerchfell auf verschiedenen Wegen in die Regulation der Atmung einbezogen. Es spielt vorwiegend die Rolle eines Erfolgsorganes, doch konnten auch vom Zwerchfell selbst herstammende Einflüsse nachgewiesen werden. Den eigentlichen Anlass zur Atmung gibt unumstritten die Kohlensäure des Blutes; sie reguliert die Ventilationsgrösse. Auf welche

Art diese Ventilationsgrösse bewältigt wird, hängt in erster Linie von den durch den Nervus vagus vermittelten Einflüssen ab. Diese zentripetalen Erregungen konnten am peripheren Vagusstumpf in Form von Aktionsströmen nachgewiesen werden. Nach der Lehre von Hering und Breuer hemmt die auf der Höhe der Inspiration eintretende Erregung die Weiterführung der Inspiration, sodass es zur Expiration kommt. Umgekehrt wird auf der Höhe der Ausatmung die Innervation der Einatemmuskeln reflektorisch veranlasst. Nach dieser Lehre wird also der Übergang von Ein- und Ausatmung reflektorisch von der Lunge her durch Schaltreflex ausgelöst. Während die experimentellen Befunde von Hering und Breuer für die weitere Forschung über die Selbststeuerung der Atmung durch den Vagus grundlegend blieb, wurde die Deutung der Befunde in neuerer Zeit widerlegt. W. R. Hess konnte beweisen, dass es sich bei den Hering und Breuer'schen Beobachtungen nicht um die Auslösung von Atembewegungen, sondern um Änderung in einem von der Lunge aus beeinflussten Grundtonus der Atemmuskulatur handelt, auf welchen sich die respiratorischen Spannungsänderungen erst aufsetzen. Danach ist die Hauptwirkung des Vagus in der Regulierung der Atemtiefe und der Atemfrequenz nicht in einer Schaltfunktion, sondern in einer Tonisierung der Atemmuskulatur zu suchen. Bei diesen Untersuchungen konnte auch beobachtet werden, dass sich das Zwerchfell bei Entleerung der Lunge ziemlich rasch zusammenzieht, bei der Blähung der Lunge geht das Nachlassen des Tonus anfänglich rasch, dann aber ziemlich langsam vor sich. Der zeitliche Verlauf der Spannungsänderung des Zwerchfells ist also bei Blähungen und Entblähungen der Lunge verschieden. Es ist auch wesentlich, dass jede Lufteinblasung aus irgend einem Füllungszustand und jedes Absaugen in einer willkürlich gewählten Ausgangslage der Lunge mit gegensinnigen Thoraxbewegungen beantwortet wird. Es ist festgestellt, dass eine untere Grenze des Lungenvolumens, von welchem an eine noch weitere Verkleinerung unwirksam wäre, kaum existiert. Nicht nur das Aufblähen bzw. Absaugen von Luft von der Trachea aus ist wirksam, sondern auch die Änderung des Lungenvolumens durch Einblasen bzw. Wiederabsaugen von Luft aus dem Pleuraraum.

Bei seinen Untersuchungen über die Regulierung der Atmung konnte W. R. Hess auch zeigen, dass die Atemfrequenz und die Atemtiefe mit der Tonusfunktion des Vagus in direktem Zusammenhang stehen. Bei einem Kaninchen, dessen Lungen durch doppelseitige Thoraxresektion freigelegt werden, können bei stark gefüllten Lungen sehr langsame, ausserordentlich ausgiebige Zwerchfellbewegungen beobachtet werden. Lässt man rasch Luft aus der Lunge abfliessen, so wird die Atmung sofort frequenter und nimmt

an Tiefe ab. Bei hohem Zwerchfelltonus ist die Frequenz gross, die Atemtiefe klein, bei niedrigem Zwerchfelltonus dagegen ist die Atemtiefe gross aber die Frequenz klein. Welche grosse Bedeutung der Selbststeuerung der Atmung zukommt, kann durch Beobachtung der Atmung nach Vagusausschaltung klar dargestellt werden. Ausser dieser Vagussteuerung spielen noch koordinierende und adaptierende Reflexmechanismen eine Rolle. So konnten z. B. Einflüsse auf die Atmung festgestellt werden, die von der Thoraxwand und vom Zwerchfell selbst ausgehen. Bei Untersuchungen über plötzliche Stenosierung der Atemzufuhr beobachtete A. Fleisch eine sofortige Adaptierung der Atemkräfte, die er in Analogie zum Extremitätenmuskel als sogenannte Eigenreflexe der Atemmuskulatur bezeichnet.

Alle diese eindeutigen Ergebnisse wurden im Tierversuch gewonnen, und es ist zu untersuchen, wie weit sie auf den Menschen übertragbar sind. Ein klinisches Gebiet, auf dem bis zu einem gewissen Grad ähnliche Verhältnisse zu erhalten sind wie bei gewissen Tierversuchen, ist der Pneumothorax. Interessant wäre die Registrierung der Zwerchfellbewegung während der Nachfüllung oder Entleerung eines Pneumothorax. Schon Breuer hat bei Tieren durch die Kanüle Luft in den Pleuraraum eingelassen, um statt durch Absaugen aus der Trachea auf diese Art einen Lungenkollaps zu erzeugen. Er konnte nachweisen, dass bei beiden Arten von Lungenkollaps die Vaguswirkung in gleicher Weise eintritt. Es kann beim Pneumothorax am Menschen untersucht werden, ob ähnliche Beobachtungen gemacht werden können wie bei den Experimenten über Blähung und Entblähung der Lungen am Tier.

Bei einer Untersuchung über die Bewegung des Zwerchfells ist stets die grundlegende Bedeutung seines Tonus zu berücksichtigen, da W. R. Hess im Tierversuch nachweisen konnte, dass die Tonuslage ausschlaggebend ist für die Frequenz und die Amplitude der Atembewegungen. Ausserdem ist der Tonus massgebend für den Stand des Zwerchfells. Wird er vollständig ausgeschaltet, so steht die gelähmte Seite maximal hoch, weil die Retraktionskraft des Lungengewebes das schlaaffe Zwerchfell nach oben zieht. Ist der Tonus erhöht, wie bei jeder Form von Stenoseatmung (H. R. Schinz, Lehrbuch der Röntgendiagnostik, 4. Aufl., S. 1392), so besteht Zwerchfelltiefstand. Man darf aber daraus nicht die Schlussfolgerung ziehen, dass der Stand des Zwerchfells eine direkte proportionale Funktion seines Tonus sei, da ja der Stand noch von einer grossen Anzahl anderer Faktoren beeinflusst werden kann. Gäbe es eine Methode, um den Tonus des Zwerchfells zu messen, so könnte man viel genauere Einblicke in seine Funktion erhalten.

Über die Bedeutung der autonomen Fasern für den Zwerchfellto-

nus und über ihre Herkunft haben japanische Forscher ausgedehnte Untersuchungen am Zwerchfell von Affen ausgeführt (Ken Kuré, Tohei Hiramatsu u. a.). Diese Autoren haben auf die Häufigkeit sympathischer Nervenfasern im Querschnitt des Nervus phrenicus hingewiesen. Hier sei eine gute Zusammenfassung Ken Kuré's über seine Experimente am Affen wiedergegeben: «Aus den erwähnten Resultaten der Experimente geht hervor, dass der Tonus des Zwerchfells von Zerebrospinalwurzeln und von sympathischen Nervenfasern (teils Halssympathicus, teils Bauchsympathicus) versorgt wird, und dass die Ausschaltung einer von beiden Gruppen keine hochgradige Tonusherabsetzung des Zwerchfells erzeugt.»

Definitionen

Die Unterteilung der gesamten Zwerchfelibewegung erfolgt genau nach den vier verschiedenen Hauptdehnungslagen der Lunge, die sich auf den jeweiligen Luftgehalt der Lungen beziehen.

Die vier Hauptdehnungslagen der Lunge heissen:

1. Die maximale Inspirationslage
2. Die ruhige Inspirationslage
3. Die ruhige Expirationslage (Ruhelage)
4. Die maximale Expirationslage

Eine genaue Beschreibung der Dehnungslagen der Lunge gibt F. Rohrer. Bei diesen vier Dehnungslagen der Lunge nimmt das Zwerchfell jeweils einen ganz bestimmten Standort ein. Diese vier Hauptstandorte des Zwerchfells werden dementsprechend folgendermassen definiert:

1. Die maximale Inspirationslage entspricht der Zwerchfellstellung bei maximaler Einatmung.
2. Die ruhige Inspirationslage entspricht der Stellung am Ende einer ruhigen Einatmung.
3. Die ruhige Expirationslage entspricht der Stellung am Ende einer ruhigen Ausatmung (Ruhelage). Sie wird zugleich definiert als der Zwerchfellstand.
4. Die maximale Expirationslage entspricht der Zwerchfellstellung bei stärkster Ausatmung.

Dadurch werden die Distanzen zwischen diesen 4 Stellungen definiert:

1. Die maximale inspiratorische Excursion zwischen der maximalen Inspirationslage und der ruhigen Inspirationslage des Zwerchfells.

2. Die Ruheexcursion zwischen der ruhigen Inspirations- und der ruhigen Expirationslage des Zwerchfells.
3. Die maximale expiratorische Excursion zwischen der ruhigen Expirationslage und der maximalen Expirationslage des Zwerchfells.

Es werden folgende Abkürzungen verwendet:

1. iE = max. inspirat. Excursion
2. RE = Ruheexcursion
3. eE = max. expirat. Excursion
4. $t. iE$ = totale insp. Excursion = $iE + RE$.

Genau analog wie für das Zwerchfell können Lage und Excursion des Thoraxumfanges definiert werden.

Das Verhältnis der eE zur $t. iE$ ergibt den Excursionsquotienten:
 $eE/t. iE$ = Excursionsquotient.

Methodik

Es wird ein gewöhnlicher Durchleuchtungsapparat verwendet, bei dem Leuchtschirm und Röhre je in einer vertikalen Ebene frei gegeneinander verschieblich sind. Während der Schirm in dieser vertikalen Ebene nur in einer Richtung beweglich ist, kann die Röhre in ihrer Ebene frei in allen Richtungen bewegt werden. Vor der Röhre ist eine Blende angebracht, die aus je zwei Plattenpaaren besteht, welche so angeordnet sind, dass Rechtecke ausgeblendet werden können und dass der Schnittpunkt der Diagonalen dieser Rechtecke stets vom Zentralstrahl getroffen wird. Der Abstand zwischen der Anode und dem Schirm beträgt 60 cm.

Der Patient steht senkrecht hinter dem Schirm. Die Brust soll den Schirm berühren. Es ist zu beachten, dass Knie und Wirbelsäule gestreckt sind und keine seitlichen Neigungen mit dem Oberkörper gemacht werden. Der Zentralstrahl der Röhre liegt in der Medianebene des Körpers und soll dessen Frontalebene senkrecht treffen. Man öffnet die Blende, um einen Überblick über den Thorax zu erhalten und stellt den Schirm so, dass er durch den Zwerchfellschatten etwa halbiert wird. Jetzt wird ein schmaler horizontaler Spalt abgeblendet und dieser auf die Zwerchfellkuppel bei ruhiger Atmung eingestellt. Auf den Millimeter kommt es dabei nicht an. Röhre, Patient und Schirm dürfen während der ganzen Messung nicht mehr gegeneinander bewegt werden. Die Blende wird nun wieder soweit geöffnet, dass die ganze Excursionsfähigkeit des Zwerchfells gut gesehen werden kann. Der Patient wurde vorher angewiesen, senkrecht mit hängenden Armen, ruhig und ohne

Schwanken zu stehen. Falls nötig muss er aufgefordert werden, ganz entspannt und gewöhnlich hinzustehen und gewöhnlich zu atmen. Bei Sanatoriumspatienten sind solche Ermahnungen meist nicht nötig.

Nachdem ich einige Zeit das Zwerchfell bei ruhiger Atmung beobachtet habe, markiere ich mit einem Fettstift die Stelle, welche die Kuppe des Zwerchfells am Ende einer ruhigen Ausatmung erreicht, durch einen kurzen horizontalen Strich auf dem Schirm. Hierauf zeichne ich in gleicher Weise die Stelle an, welche das Zwerchfell am Ende einer ruhigen Einatmung erreicht. So erhalte ich zuerst auf der einen Seite, z. B. rechts zwei Striche, innerhalb denen sich die eine Zwerchfelloberfläche, eben die rechte, bei gewöhnlicher ruhiger Atmung auf und ab bewegt. Während der nun folgenden Markierung auf der linken Seite behalte ich auch das rechte Zwerchfell im Auge, da die ruhige Atmung durch einen einzelnen tiefen Atemzug unterbrochen werden kann. Es soll also vermieden werden, dass rechts und links zwei verschieden tiefe Atemzüge markiert werden. Ideal wäre eine simultane Markierung rechts und links. Das ist aber praktisch kaum möglich. Während man beobachtet, ob sich das eine Zwerchfell genau von Marke zu Marke bewegt, zeichnet man die Ruheexcursion der zweiten Zwerchfelloberfläche ein und erhält so Resultate, die einen Vergleich zwischen rechts und links gestatten.

Nachdem so die ruhige Atemexcursion beider Zwerchfelloberflächen eingezeichnet ist, fordere ich den Patienten auf, langsam so tief als möglich einzuatmen. Er soll dabei das äusserste leisten. Es gibt allerdings Patienten, die der Meinung sind, das äusserste zu leisten, wenn sie Schulter-, Thorax- und Halsmuskulatur verkrampfen und womöglich noch mit Glottis und Kehlkopf allerhand Übungen ausführen. In solchen Fällen muss der Patient zuerst belehrt werden, wie er ruhig und entspannt viel leichter ein maximales Luftvolumen einatmen könne. Am Ende dieser maximalen Inspiration also markiere ich sofort den Ort, an dem die Zwerchfelloberfläche steht. Meist gelingt das rechts und links zugleich. In der grossen Mehrzahl der Fälle bewegt sich das Zwerchfell in caudaler Richtung bis in eine tiefste Endstellung, die es erst wieder mit einsetzender Ausatmung verlässt. Es gibt nun Leute, bei denen sich das Zwerchfell bei mittelstarker oder tiefer Einatmung nicht in caudaler sondern in cranialer Richtung bewegt. Es kann sich dabei um das nicht so seltene Vorkommen der pseudoparadoxen Atembewegung handeln. In diesem Fall zeichne ich den caudalsten und den cranialsten Punkt an, den das Zwerchfell bei maximaler Einatmung erreicht. Es ist auch ratsam, sich bei der Beobachtung der Ruheexcursionen zu überzeugen, ob sich das Zwerchfell bei der Einatmung

auch wirklich in caudaler, bei der Ausatmung in canialer Richtung bewegt, um nicht eine paradoxe Bewegung zu übersehen.

Nun fordere ich den Patienten auf, so stark als möglich auszuatmen und markiere beidseits die Stellen, welche die Zwerchfellkuppeln am Ende der Ausatmung erreichen.

Am Schluss erhalte ich so für jedes Zwerchfell vier Striche, die möglichst vertikal übereinander liegen sollen. Man kann auch zuerst einige senkrechte Linien einzeichnen und auf der geeigneten davon die Marken anbringen. Die Messtellen müssen rechts und links möglichst gleich weit von der Medianebene des Körpers entfernt sein, damit die Resultate der rechten und linken Seite mit einander verglichen werden können. Für praktische Zwecke genügt es, je nach Herzgrösse und Form des Zwerchfells ungefähr im Bereich der Medioclavikularlinie zu messen. Kommt es auf exakte Lokalisation an, so kann man auf dem Thorax zwei senkrechte Bleidrähte je vorn und hinten anbringen und sie im achsialen Strahlengang zur Deckung bringen.

Nun messe ich den Abstand jeder Marke vom unteren Rand des Schirmes in Millimeter und notiere die Zahlen getrennt für das rechte und linke Zwerchfell in der Reihenfolge von oben nach unten auf dem Schirm und von links nach rechts auf dem Notizblock. Durch jeweilige Berechnung der Differenz des Markenabstandes vom unteren Rand des Schirmes bei max. Exsp., ruhiger Exsp., sowie bei ruhiger und max. Insp. erhalte ich die eE, die RE und die iE. Die Differenz des Markenabstandes vom unteren Rand des Schirmes bei ruhiger Ausatmung zwischen rechter und linker Seite ergibt den Unterschied des Zwerchfellstandes zwischen rechter und linker Seite. Notiert man noch die Distanz zwischen rechter und linker Markenreihe am Schirm, so lässt sich mit diesen Angaben das ganze Markenbild auf dem Schirm rekonstruieren. Ich habe bei der Wiederholung von Messungen beim gleichen Patienten diese Rekonstruktion nicht vorgenommen und auch die Zahlen nicht erst nachgesehen, um der neuen Messung ganz objektiv gegenüber zu stehen.

Kritik der Methodik

Drei Haupteinwände können gegen die beschriebene Methode erhoben werden. Erstens der Projektionsfehler, der sich beim divergenten Strahlengang der Nahaufnahme ergibt. Zweitens gibt es am Zwerchfellbogen keine exakte sowie symmetrische Ortsbezeichnung und überdies ändert das Zwerchfell als lebendiges Organ noch seine Gestalt während der Messung. Ein dritter Haupteinwand be-

trifft den Patienten. Durch unzweckmässiges Verhalten, wie z. B. Verkrampftheit, Angst vor der Untersuchung oder Gleichgültigkeit können unbrauchbare Messungen zustande kommen.

Um eine grössengerechte Aufnahme der wahren Zwerchfellexcursionen zu machen, muss man sich entweder der Orthodiagraphie bedienen oder eine Fernaufnahme verwenden. In einem Beitrag zum Kongress der inneren Medizin (München 1906) schreibt F. Jamin: «Absolute und einigermaßen zuverlässige Masse für die Höhe und Bewegungsgrösse des Zwerchfellschattens sind jedoch nur zu gewinnen, wenn man auf eine von den Bewegungen des Brustkorbes unabhängige Frontal- und Sagittalebene die Grenzen der ganzen Lungenfelder in verschiedenen Respirationsphasen orthodiagraphisch unter den für diese Methode gebotenen Kautelen hinsichtlich Ruhigstellung des Körpers u. dgl. m. aufzeichnet.»

F. Jamin anerkennt also zur exakten Messung nur die Orthodiagraphie. Für seine Messungen, die sich auf die genaue Differenz der verschiedenen Zwerchfellstellungen zwischen links und rechts in verschiedenen Körperlagen erstrecken, kommt auch nur die Orthodiagraphie in Frage. Für meine Untersuchungen, bei denen die groben Bewegungsverhältnisse am Zwerchfell bestimmt werden, muss jedoch kein streng verzerrungsfreies Verfahren gefordert werden. Mit Hilfe der Abblendung stelle ich den Zentralstrahl auf die Horizontalebene ein, welche das Zwerchfell bei ruhiger Ausatmung erreicht. Öffne ich nun die Blende und lasse Schirm und Röhre an Ort, während das Zwerchfell seine cranialste Stellung durch max. Exsp. erreicht, so wird die Zwerchfellkuppe nicht mehr vom Zentralstrahl sondern von einem divergenten Strahl geschnitten (der übrigens auch nicht mehr den cranialsten Punkt der Zwerchfellkuppe trifft, sondern, entsprechend deren Krümmung in sagittaler Richtung, einen etwas weiter dorsal gelegenen Punkt als Tangente erreicht). Dementsprechend liegt die wirkliche Zwerchfellkuppe und ihr Schatten auf dem Schirm nicht in einer horizontalen sondern in einer von ventral cranial nach dorsal caudal geneigten Ebene. Jede wirkliche Bewegungsgrösse des Zwerchfells wird also auf dem Schirm vergrössert wiedergegeben. Bei Messung der Zwerchfellbewegung am Schirm entsteht ein Fehler und zwar ist die wirkliche Bewegungsgrösse kleiner als am Schirm gemessen. Dieser Fehler lässt sich approximativ berechnen. Betrachtet man einen Parasagittalschnitt durch den menschlichen Thorax, so liegt der höchste Punkt des Zwerchfellgewölbes der vorderen Brustwand deutlich näher als der hintere. Bei dorsoanteriorer Durchleuchtung dürfte die Distanz des Schirmes zum Scheitelpunkt des Zwerchfellgewölbes beim Erwachsenen im Durchschnitt 9 cm betragen. Die Distanz von der Anode bis zum Schirm beträgt 60 cm. Der Strahlenkegel ist auf

den Zwerchfellstand bei ruhigem Exspirium zentriert. Mit diesen Angaben lässt sich die wahre Grösse und damit der Fehler berechnen. So fand ich z. B. als grösste eE 9 cm auf dem Schirm. Die wahre Grösse berechnet sich planimetrisch auf 7,5 cm. Der Projektionsfehler beträgt 17 % der gemessenen Grösse. Man könnte nun meinen, je grösser der Ausschlag der Bewegung, um so grösser werde auch der Fehler. Man kann nun aber den Schirm einerseits, die Verbindungslinie der jeweiligen Scheitelpunkte des Zwerchfells andererseits als Kreisbogenabschnitte von zwei verschiedenen grossen Kreisen betrachten, in deren Zentrum sich die Anode befindet. Der grosse Kreis hat einen Radius von 60 cm, der kleine einen von 51 cm, entsprechend dem Abstand der Anode zum Scheitel des Zwerchfells. Durch beliebige Radienpaare abgegrenzte Abschnitte auf dem innern und äussern Kreis stehen immer im gleichen Grössenverhältnis zueinander. Das bedeutet aber für die Messungen, dass das Verhältnis der einzelnen Excursionen zueinander durch die Verzerrung praktisch nicht gestört wird, während die absolute Grösse wohl, aber immer im gleichen Prozentsatz einen Fehler aufweist. Unter diesen Voraussetzungen darf man auch die absolute Grösse zur Beurteilung der wirklichen Bewegungsgrösse des Zwerchfells heranziehen. Als Faustregel darf gelten, dass meine absoluten Messwerte bei Erwachsenen um 15—20 % zu vermindern sind, um die wirkliche Bewegungsgrösse des Zwerchfells zu erhalten. Bei Kindern muss wegen der dünneren Brustwand und der geringeren Thoraxtiefe ein kleinerer Abzug gemacht werden.

Ein weiterer Fehler liegt in der Unmöglichkeit, auf dem Zwerchfellschatten in sinistro-dextraler Richtung fixe und symmetrische Messtellen angeben zu können. Dieser Fehler kann aber in den meisten Fällen sehr klein gehalten werden, da der Zwerchfellschatten in seinem mittleren Bereich einen gleichmässig gerundeten horizontal liegenden Bogenabschnitt darstellt. Bewegt man sich auf diesem in sinistro-dextraler Richtung um einige Zentimeter, so verändert man seinen Standort in cranio-caudaler Richtung höchstens um wenige Millimeter, also in der Richtung, in der gemessen wird. Bei tiefem Inspirium wird ein solcher Fehler allerdings grösser, weil die lateralen Zwerchfellteile dann meistens steil abfallen. Man soll darum die Messtellen auch nicht zu weit lateral verlegen. Da die Wirbelsäule und der Scheitel der Lungenfelder bei der Atmung ihren Ort nicht verändern, können bei ruhiger Haltung des Patienten praktisch keine Fehler durch Verschiebung des ganzen Patienten entstehen. Entstehen trotz Beachtung dieser Tatsachen fehlerhafte Resultate, so sind die Gründe dafür kaum in der Technik, viel mehr in unzuweckmässigem Verhalten des Patienten zu suchen. Da ich meine Untersuchungen fast ausschliesslich an Sanatoriumspatienten

durchführte, für die eine Untersuchung meist eine ganz alltägliche Sache ist, stiess ich in dieser Hinsicht selten auf Schwierigkeiten. Eine besondere Auswahl von Patienten wurde nicht beabsichtigt. Jeder Patient wird regelmässig im Abstand von ca. 3 Wochen untersucht und durchleuchtet. Ich habe also meine Messungen unauffällig während der regulären Untersuchung ausgeführt, ohne dass die Kranken wussten, dass etwas besonderes festgestellt werden soll.

Man kann sich noch fragen, ob nicht der Millimeter ein zu exaktes Mass ist für das Verfahren. Ich finde es aber schwieriger, die gefundene Grösse stets in korrekter Weise zum Zentimeter aufzurunden. Ich finde es einfacher und objektiver, die Distanzen gerade in Millimeter anzugeben.

Messungen und Resultate

Die Excursionsgrösse des Zwerchfells wird in Millimeter angegeben, ebenso der Unterschied zwischen rechtem und linkem Zwerchfellstand, und zwar nach folgendem Schema:

	eE	RE	iE	Tot.
rechtes Zw.				
linkes Zw.				

Differenz des Zwerchfellstandes:

rechtes Zw. x mm über dem linken
= R x mm/L und umgekehrt.

In einzelnen Fällen sind auch die entsprechenden Thoraxexcursionen angegeben. Wo Angaben über den Zwerchfellstand in Bezug auf die Rippen gemacht werden, beziehen sich diese Angaben auf den dorsalen Abschnitt derjenigen Rippe oder desjenigen Intercostalraumes, welche von der durch die betreffende Zwerchfellkuppe gelegten Horizontalebene geschnitten werden. Z. B. R 10. ICR = rechtes Zw. steht im 10. Intercostalraum.

Die klinischen Angaben können nur stichwortartig beigelegt werden. Da die Unterteilung der Lungentuberkulose trotz mehreren Versuchen nicht eindeutig gelöst ist, wird hier nur die Einteilung in primäre und postprimäre Lungentbe vorgenommen, wobei allerdings auch die Grenze zwischen diesen zwei Zuständen schon nicht mehr klar definierbar ist. Auch die Bezeichnung «aktiv» und «inaktiv» haben fast mehr Verwirrung als Nutzen mit sich gebracht. Ist der tuberkulöse Prozess soweit zurückgegangen, dass er nur noch geringe oder keine klinischen Zeichen und Symptome mehr hervorruft (wie z. B. Temperatur, Blutsenkung, röntgenolog. Veränderungen, Allgemeinzustand), so wird der Prozess als abgeklungen, bei protrahiertem Heilungsverlauf als nicht progressiv bezeichnet.

8 gesunde normale Personen

m.=männlich w.=weiblich	eE	RE	iE	Tot.
1. <i>P. F. m.</i> 28 <i>J.</i> leptosom-pyknisch, R=L, R & L 10. Rippe	25 20	13 15	42 46	80 81
2. <i>P. L. m.</i> 15 <i>J.</i> leptosom-athletisch, R 9/L, R 10. Rippe pseudoparadox	51 44	11 13	13 17	75 74
3. <i>H. B. m.</i> 55 <i>J.</i> leptosom-athletisch, R S/L, R 10. Rippe R wenig pseudoparadox	74 62	13 16	10 16	97 94
4. <i>K. Sch. m.</i> 27 <i>J.</i> leptosom, R=L, R & L 10. ICR, pseudoparadox	56 55	15 15	6 16	77 86
5. <i>H. Z. m.</i> 32 <i>J.</i> pyknisch-athletisch, R 10/L, R 10. ICR	47 47	19 20	17 11	83 78
6. <i>R. St. m.</i> 33 <i>J.</i> leptosom-athletisch, L 4/R, R 10. ICR ziemlich viel Luft im Magen	56 51	12 14	18 35	86 100
nach mässiger kurzdauernder Muskelarbeit, beide Messungen erfolgen kurz nacheinander, L 3/R	48 48	12 16	24 34	84 98
7. <i>P. S. m.</i> 28 <i>J.</i> leptosom-pyknisch, R 17/L	62 64	17 17	23 24	102 105
nach kurzer starker Muskelarbeit, R 8/L	60 51	40 38	7 6	107 95
8. <i>T. S. w.</i> 26 <i>J.</i> pyknisch, R 9/L, R 9. Rippe	58 51	15 20	35 29	108 100
nach kurzer mässiger Muskelarbeit, R 2/L	49 39	17 22	36 37	102 98
3 Wochen später, R 6/L	60 46	16 18	31 36	107 100
nach kurzer starker Anstrengung, R 6/L	56 46	28 31	19 23	103 100

Bei dieser allerdings kleinen Zahl von 8 gesunden Personen können Totalexursionen von 74—108 mm gemessen werden. Es ist ein eigenartiger Zufall, dass die einzige Frau unter diesen 8 Personen die grösste Totalexursion aufweist, wenn man sich an die immer wiederkehrende Behauptung erinnert, dass der Mann mehr abdominal atme und das Zwerchfell des Mannes grössere Ausschläge aufweise als dasjenige der Frau. Nur bei Nr. 7 besteht eine praktisch vollständige Symmetrie der Exursionen am rechten und linken Zwerchfell. Bei 6 Personen ist die eE am rechten Zwerchfell grösser als am linken und bei 5 von diesen 6 Personen ist die iE am linken Zwerchfell grösser als am rechten. Im Verhältnis der eE zur

t. iE bestehen grosse Unterschiede, der kleinste Excursionsquotient beträgt 0,33 (Nr. 1), der grösste 3,2 (Nr. 3).

Die RE ist bei allen Personen ziemlich ähnlich, die kleinste beträgt 11 mm, die grösste 20 mm. Bei 6 Personen ist sie am linken Zwerchfell grösser als am rechten, bei 2 Personen beidseits gleich gross.

Die Totalexursion ist bei 4 Personen rechts grösser als links und bei 4 Personen links grösser als rechts. Der grösste vorkommende Unterschied zwischen rechter und linker Totalexursion beträgt 14 mm.

Bei 3 Personen kommt am Ende der maximalen Inspiration eine pseudoparadoxe Bewegung vor, bei Nr. 3 nur rechts, bei Nr. 2 links stärker als rechts und bei Nr. 4 rechts stärker als links.

Bei 3 Personen wurden die Verhältnisse nach kurzdauernder Muskularbeit untersucht. Schon nach mässiger Anstrengung wird die eE vermindert, wobei sich rechtes und linkes Zwerchfell auffallend verschieden verhalten können. Die Totalexursion wird auch nach starker Anstrengung nur wenig verändert. Die RE ist nach mässiger Anstrengung nur wenig erhöht, dagegen stark nach grosser Anstrengung, bei Nr. 7 und 8 geht diese Erhöhung der RE zum grossen Teil auf Kosten der iE vor sich.

Bei einer Person können die Zwerchfellexcursionen an 2 verschiedenen Tagen mit einander verglichen werden, wobei die einzelnen Amplituden und die Totalexursionen nur geringe Unterschiede aufweisen.

II. 20 tuberkulöse oder tuberkuloseverdächtige Kinder:

m.=männlich w.=weiblich	eE	RE	iE	Tot.
1. J. W. w. 12 J. leptosom, abgeklungene Primärtbc der Lunge, viel Gas im Magen, L 25/R	35 25	10 10	10 20	55 55
2. H. W. m. 7 J. leptosom, 18. 3. 52, Abgeklungene Primärtbc der Lunge, R 10/L, R 10. ICR	28 30	11 14	19 18	58 62
10. 5. 52, R 8/L, R 10. Rippe	26 22	17 18	19 22	62 62
3. P. B. m. 12 J. leptosom, Residuen von Primärtbc im rechten Lungenhilus, R 20/L, R 10. ICR	42 32	15 18	2 2	58 52
4. W. K. m. 7 J. leptosom, im Abklingen begriffene Primärtbc, geschwollene Hiluslymphome links, R 4/L, ziemlich Gas	38 42	10 16	0 0	48 58
3 Wochen später, R 12/L wenig Gas im Abdomen	37 53	13 17	0 0	50 70
7 Wochen später, R 2/L, R 9. ICR sehr viel Gas im Abdomen	43 30	15 17	0 11	58 58

	eE	RE	iE	Tot.
5. <i>R. J. m. 12 J.</i> leptosom, Hühnerbrust, abgeklungene Primärtbc der Lunge im rechten Hilus, R 8/L	49 44	14 16	4 7	67 67
6. <i>U. K. w. 9 J.</i> leptosom, Infiltrierung um alten Primärherd im rechten Unterfeld, R 2/L	35 33	10 11	0 13	45 57
3 Wochen später, Rückbildung der Verschattung im rechten Unterfeld, R 5/L, R 9. ICR	27 30	13 15	16 20	46 65
7. <i>L. S. w. 8 J.</i> leptosom, im Abklingen begriffene Primärtbc mit Primärherd im linken Mittelfeld, R 4/L, R 9. ICR	44 43	10 15	0 0	54 58
10 Wochen später nach völliger Stabilisierung R 11/L, R.=ICR	37 33	15 19	4 13	56 65
8. <i>E. G. w. 10 J.</i> leptosom, Primärtbc der Lunge mit protrahiertem Heilungsverlauf, Primärherd rechts	30 10	15 15	5 5	50 60
1 Monat später, R=L, R 10. Rippe	40 40	10 16	5 5	55 61
4 Monate später, R=L, R 10. Rippe	41 39	11 13	0 4	52 56
9. <i>F. Sch. m. 7 J.</i> leptosom abgeklungene Primärtbc der Lunge, R 2/L	45 37	15 16	0 0	60 53
10. <i>V. S. m. 14 J.</i> leptosom, postprimäre Lungentbc mit Spitzeninfiltrat links, R 12/L	36 42	15 15	13 18	64 75
11. <i>M. F. w. 8 J.</i> pyknisch, Lymphomata colli tbc, R 5/L	15 20	10 15	20 15	45 50
12. <i>E. H. m. 14 J.</i> pyknisch, Lyphadenitis submand. tbc R 12/L, R 9. ICR	45 34	20 16	0 0	65 50
13. <i>Ch. V. w. 8 J.</i> leptosom, Susp. auf Primärtbc	25 23	12 15	5 5	42 43
14. <i>R. K. w. 13 J.</i> pyknisch, frische Primärtbc der Lunge im rechten Hilusgebiet, R 4/L	24 24	12 14	25 33	61 71
15. <i>I. B. w. 12 J.</i> pyknisch, frische Primärtbc der Lunge	55 44	14 14	6 16	75 74
16. <i>J. L. w. 14 J.</i> pyknisch, Primärtbc der Lungen mit protrahiertem Verlauf, Status nach Zwerchfelllähmung und partieller Oberlappenatelektase rechts wegen Druck durch Hiluslymphom, R 5/L, R 9. Rippe	40 35	20 15	0 10	60 60

Bei den folgenden 4 Fällen handelt es sich um Kinder mit frischer Primärtbc der Lunge, bei denen auf der Höhe des Prozesses und später beim Abklingen der Tbc eine Messung vorgenommen werden konnte:

	eE	RE	iE	Tot.
17. <i>V. K. w. 12 J.</i> leptosom-pyknisch, Primärherd im linken Unterfeld, starke circumfokale Verschattung R 5/L, R 10. Rippe, am 7. 4. 52	42 30	11 13	0 0	53 43
19. 5. 52, röntgenologisch deutliche Rückbildung der Verschattung, R 13/L, R 10. Rippe	55 48	12 14	14 8	81 70
1. 7. 52., völlige Stabilisierung, Prozess fast abgeklungen, R 7/L, R 10. Rippe	58 50	12 13	18 20	88 83
18. <i>H. B. w. 13 J.</i> leptosom, linker Hilus vermehrt verschattet, R 15/L, am 11. 2. 52	37 25	12 5	11 28	60 58
20. 3. 52, R 19/L, R 9. ICR Prozess in Rückbildung begriffen	60 52	10 7	7 12	77 71
19. <i>R. E. w. 11 J.</i> leptosom, Primärherd im rechten Unterfeld, R 7/L, am 11. 2. 52	28 27	14 15	16 15	58 57
20. 3. 52, rasche Besserung, R=L	47 27	12 13	6 15	65 55
20. <i>G. L. w. 12 J.</i> leptosom, intensive Verschattung im linken Hilusgebiet, R 4/L, am 5. 5. 52	27 30	18 17	4 11	49 58
19. 6. 52, Prozess im Abklingen, R 12/L	31 38	16 18	0 14	47 70

Bei diesen 20 Kindern können Totalexursionen von 42—88 mm gemessen werden. Am häufigsten kommen Totalexursionen von 50—70 mm vor.

Eine allgemeingültige Regel über das Verhalten des Zwerchfells bei Primärtbc der Lungen kann nicht aufgestellt werden. Die Totalexursion kann auf der Seite des Primärherdes gleich gross oder sogar grösser sein als auf der anderen Seite. In einem Fall (Nr. 18) ist die RE auf der Seite des Primärherdes deutlich eingeschränkt, aber die Totalexursion ist trotzdem auf beiden Seiten fast gleich gross. Bei einem Kind ändert sich die iE auf der betreffenden Seite mit dem Verschwinden einer basalen Infiltrierung (Nr. 6).

Die RE ist bei 12 Kindern links grösser als rechts, bei 3 Kindern rechts und links gleich gross und bei 2 Kindern rechts grösser als links. Bei 3 Kindern ist das Verhältnis bei zwei und mehr Messungen verschieden. Die kleinste RE beträgt 5 mm, die grösste 20 mm.

Die Totalexursion ist bei 7 Kindern am rechten Zwerchfell grösser als am linken, bei 3 Kindern beidseits gleich gross und bei 10 Kindern am linken Zwerchfell grösser als am rechten.

Der Excursionquotient liegt bei den meisten Kindern über 1, zum Teil sogar beträchtlich. Bei der grössten Mehrzahl ist die t. iE am linken Zwerchfell grösser als am rechten.

In 9 Fällen kann bei maximaler Inspiration eine pseudoparadoxe Bewegung beobachtet werden. Bei 6 von diesen 9 Beobachtungen kommt die Bewegung doppelseitig vor und ist am rechten Zwerchfell ausgeprägter als am linken. In 3 Fällen ist diese Cranialbewegung nur am rechten Zwerchfell vorhanden.

Bei einem bestimmten Kind konnte bei wiederholten Untersuchungen oft mehrmals ein Zwerchfellhochstand links bei vermehrtem Gasgehalt im Abdomen festgestellt werden. Andererseits konnte oft vermehrter Gasgehalt gefunden werden, ohne dass dabei ein Zwerchfellhochstand zu beobachten war. Bei Nr. 1 besteht ein starker Hochstand links bei vermehrtem Gasgehalt im Abdomen. Dabei ist der Excursionquotient auf dieser Seite viel kleiner als rechts. Bei Nr. 4 zeigen die Amplituden am rechten Zwerchfell zu verschiedenen Zeiten nur geringe Differenzen, aber ziemlich grosse Unterschiede am linken Zwerchfell, was wohl eindeutig auf den wechselnden Gasgehalt im Magen zurückzuführen ist.

Vier Kinder mit frischer Primärthc und sicher lokalisierbarem Sitz des Primärherdes in der linken oder rechten Lunge, zeigen beim Abklingen des Prozesses ausnahmslos eine Zunahme der eE. Diese Zunahme ist immer auf der Seite des Primärherdes grösser als auf der anderen. Dieses Verhalten bei 4 Fällen kann kaum auf einem Zufall beruhen. Handelt es sich um eine Tonusänderung des Zwerchfells oder um eine Änderung der muskulären oder der elastischen Kontraktilität der Lunge? An der Differenz des Zwerchfellstandes fällt dabei auf, dass bei der 2. Messung das Zwerchfell auf der Seite des Primärherdes gegenüber der anderen Seite stets tiefer steht als bei der ersten Messung.

III. 28 Erwachsene mit tuberkulösen Erkrankungen oder Verdacht

	eE	RE	iE	Tot.
1. <i>R. Sch. w. 17 J. leptosom, Primärthc der Lunge, nicht progredient, R 15/L</i>	37 42	12 15	30 25	79 82
1 Monat später, Prozess fast abgeklungen R 27/L, R 10. Rippe	45 47	14 18	24 15	83 80
2. <i>Cl. F. w. 16 J. leptosom, Kleinkavernöse Spitzenthc links, R=L, R 9. Rippe, am 10. 4. 52</i>	30 17	16 19	6 15	52 51
9. 5. 52. frischer Rundschatten im rechten Unterfeld, Anstieg der Blutsenkung, R 10/L, R 9. ICR	29 31	14 15	11 15	54 61
19. 5. 52, Rundschatten unverändert, Eosinophilie R=L	20 18	14 21	13 15	47 54
24. 5. 52, Rundschatten unverändert, Eosinophilie und Blutsenkung zurückgegangen, R 4/L	40 29	15 18	0 13	55 60
1. 7. 52, Rundschatten unverändert, R 7/L	39 34	13 17	5 11	57 62

	eE	RE	iE	Tot.
3. <i>H. K. w. 24 J.</i> leptosom, chronische Lungentbc, kleinfleckige Spitzenherde. R 7/L, R 10. Rippe	43 32	12 16	0 17	55 65
2 Monate später, Befund unverändert, L 7/R	44 44	11 15	0 21	55 80
4. <i>L. G. w. 21 J.</i> leptosom-pyknisch, chronische kavernöse Lungentbc, Pleuraschwarten beidseits (früher Pneu)	40 31	16 15	18 27	74 73
6 Wochen später, Allgemeinzustand gebessert, R 17/L	49 32	14 18	19 24	82 74
5. <i>G. N. w. 23 J.</i> pyknisch, apfelgrosse Kaverne im linken Oberfeld, rechte Lunge kaum verändert, am 23. 2. 52	20 18	15 17	15 17	50 52
8. 4. 52, Mitte April Fieberschub mit hoher Temp. R 4/L (Rimifon, Streptomycin)	24 15	13 15	13 14	50 44
23. 5. 52, Ende April 52 erscheint ein frisches Infiltrat im linken Unterfeld paracardial, R=L	14 18	15 10	23 0	52 28
1. 7. 52, Infiltrat stark abgeblasst R 7/L	41 24	15 10	27 14	83 48
6. <i>P. M. w. 19 J.</i> leptosom, frische apfelgrosse Kaverne im rechten Unterfeld, R 6/L, R 9. Rippe	0 12	3 12	5 16	8 40
nach Anlage eines Pneumoperitoneum ohne Phrenicusquetschung, R 16/L, R 8/ICR	19 18	10 18	0 14	29 50
7. <i>F. R. m. 39 J.</i> leptosom, Status nach Lobektomie des rechten Unterlappens, Atelektase der übrigen rechten Lunge (Bronchustbc), Zyanose, Ruhedyspnoe	0 50	0 30	0 0	0 80
8. <i>S. M. w. 51 J.</i> pyknisch, mehrere Kavernen links und intensive Verschwartung der linken Pleura	50 0	10 0	10 0	70 0
9. <i>A. Sch. m. 31 J.</i> leptosom, eigrosse Kaverne im linken Oberfeld, Streuherde in beiden Lungen, ausgedehnte Pleuraschwarte links, Phren. exhair. links vor 10 J.	10 0	15 10	18 0	43 10
10. <i>H. Sch. w. 46 J.</i> leptosom, Status nach Plastik links, Restkaverne, Phren, exhairese vor 1 Jahr, R 3/L	0 0	20 12	0 0	20 12
11. <i>H. L. w. 34 J.</i> leptosom, Status nach Oleothorax, Empyem und Plastik links, R 55/L	56 0	14 0	15 0	85 0
12. <i>L. K. m. 44 J.</i> leptosom, Status nach Plastik rechts, Kaverne und Infiltrate links, L 6/R, R 10. ICR	38 37	10 16	20 18	68 71
1 Monat später, Befund unverändert, R 2/L	30 35	13 16	11 20	54 71
13. <i>E. St. w. 82 J.</i> leptosom, zirrhotische Lungentbc, cor bovinum, starke Kyphose, Dyspnoe, R 18/L	15 23	25 27	10 3	50 53
1 Monat später, R 14/L	21 28	26 32	15 6	62 66

	eE	RE	iE	Tot.
14. <i>M. Sch. w. 86 J.</i> leptosom, Alterstbc, Spitzenherde, cor bovinum, Stauungslunge, R 30/L, am 22. 1. 52	40 5	5 5	10 5	55 15
13. 2. 52. anfangs Februar erste Symptome einer hypostatischen Bronchopneumonie links, R 15/L	23 0	8 0	4 0	35 0
20. 3. 52, bronchopneumon. Prozess ganz abgeklungen, R 40/L	32 42	13 2	10 12	55 56
6. 5. 52, R 28/L, R 11. Rippe	46 35	13 10	18 9	77 54
15. <i>E. U. w. 63 J.</i> leptosom, rechts kavernöse, links zirrhotische Lungentbc. R 3/L, R 10. Rippe	26 18	17 14	3 5	46 37
16. <i>H. L. w. 62 J.</i> pyknisch, Alterstbc, Oberlappenschumpfung rechts, Herzinsuff., R 15/L, R 10. Rippe	33 40	12 17	20 17	65 74
17. <i>L. H. w. 62 J.</i> pyknisch, zirrhotische Alterstbc, Herzdilatation, R 45/L	20 15	15 15	25 35	60 65
18. <i>Fr. W. w. 65 J.</i> pyknisch, Alterstbc, zirrhotischer Spitzenprozess bds. Myocardschaden. R 5/L	40 25	15 15	20 25	75 65
3 Monate später, Befund unverändert	47 40	18 12	18 25	83 77
19. <i>M. T. w. 76 J.</i> leptosom, Status nach Pleuropneumonie rechts basal, Susp. auf Tbc oder Tu, R 15/L	40 90	20 20	0 10	60 120
3 Wochen später, Verschattung des rechten Unterfeldes unverändert, R=L	47 74	21 24	2 20	70 118
20. <i>A. N. m. 73 J.</i> leptosom, zirrhotische Lungentbc, Skoliose, am Thorax eE 10, iE 50, L 12/R	60 54	8 7	0 0	68 61
21. <i>R. S. m. 25 J.</i> leptosom, chronische miliare Lungenaussaat, Tropfenherz, R=L, R 10, ICR, am 21. 2. 52.	55 52	13 18	0 0	68 70
22. 4. 52. R 7/L, R 10. ICR am Thorax eE 50, iE 10	54 54	13 20	0 15	67 89
3. 6. 52, R 2/L, R 10. ICR, die fleckige Verschattung der Lungenfelder ist undeutlicher geworden	46 55	17 16	10 15	73 86
22. <i>H. F. w. J.</i> leptosom, Pleuritis exsudativa links, Beginn im Sept. 51, R 5/L, am 23. 1. 52	35 15	15 10	15 5	65 30
7. 4. 52, laterobasaler Teil des Unterfeldes noch verschattet, R 9/L, R 9. Rippe	37 34	21 15	26 25	84 74
20. 5. 52, nur noch Sinus verschattet, R 8/L	37 31	17 16	26 23	80 70
23. <i>M. Sch. m. 45 J.</i> leptosom, Pleuritis exsudativa rechts Schwarte im rechten Oberfeld, R 14/L, am 13. 2. 52	24 40	9 22	5 30	38 92
16. 2. 52, laterobasaler Teil des Unterfeldes noch deutlich verschattet, R 5/L	18 40	12 25	2 23	32 88
18. 3. 52, Erguss vermindert, R 6/L	30 44	10 18	15 36	55 98

	eF	RE	iE	Tot.
28. 4. 52, rechtes Unterfeld vollständig aufgeheilt R 6/L	42 57	11 16	20 36	73 109
24. <i>M. H. w.</i> 32 <i>J.</i> leptosom, Syptomloser Pleuraerguss rechts Sinus noch gering verschattet, R=L, R 10. ICR	40 55	14 13	0 0	54 68
25. <i>A. W. m.</i> 51 <i>J.</i> pyknisch, chronisch zirrh. Lungentbc, Verdacht auf Silico-tbc, basales Emphysem, R 8/L	15 0	10 10	15 35	40 45
2 Monate später, R 9/L, R 10. ICR	14 5	5 16	15 17	34 38
26. <i>M. G. w.</i> 35 <i>J.</i> leptosom, Verdacht auf Nierentbc, rechtes Zwerchfell spitz gerundet, früher Commotio cerebri R 24/L	48 45	7 13	15 23	70 81
27. <i>E. L. w.</i> 36 <i>J.</i> leptosom, Asthma bronch. seit Kind- heit, Kaverne links apikal, Tropfenherz, R=L	15 20	15 15	5 10	35 45
1 Monat später, R=L	0 0	14 14	4 11	28 25
28. <i>W. R. m.</i> 32 <i>J.</i> leptosom, vor 5 Wochen Broncho- pneumonie links basal, Verdacht auf Tbc nicht bestätigt, R 15/L	66 46	19 13	19 22	104 81

Bei dieser Serie von 28 Erwachsenen mit meist tuberkulösen Lungenprozessen kommen in der Mehrzahl Totalexkursionen unter 70 mm vor. Dagegen können bei mehreren Fällen mit ausgedehnten und chronischen Lungenveränderungen auch über 70 mm gemessen werden, darunter auch bei einer Anzahl Patienten mit sicherem Emphysem. Bei einem Fall mit basalem Emphysem und schrumpfenden Prozessen in beiden Obergeschossen kann das Zwerchfell bei max. Expiration kaum höher treten, dagegen bei Inspiration noch ausgiebig absteigen (Nr. 25).

Bei 5 Patienten kommt pseudoparadoxe Atembewegung vor, dabei in 2 Fällen nur am rechten Zwerchfell.

In 3 Fällen konnten die Verhältnisse am Zwerchfell beim Erscheinen eines frischen Prozesses untersucht werden (Nr. 2, 5, 14). Die Amplituden können bereits längere Zeit vor den ersten klinischen Erscheinungen verändert sein oder auch unbeeinflusst bleiben.

Bei Pleuritis exsudativa (Nr. 22, 23.) nimmt die Totalexkursion mit dem Rückgang des Ergusses zu und zwar nicht nur auf der Seite des Ergusses, sondern auch auf der andern, eine «kompensatorisch vergrösserte Zwerchfellbewegung» ist auf dieser Seite jedenfalls nicht zu erkennen.

Bei 3 Fällen bestehen schwere einseitige Lungenveränderungen (Nr. 7, 8, 9), und es bewegt sich dabei praktisch nur eine Zwerch-

fellhälfte auf der Seite mit nur unbedeutenden röntgenologischen Lungenveränderungen. Diese Zwerchfellhälfte weist bei allen drei Fällen eine Totalexursion von mindestens 70 mm auf, aber in keinem Falle besteht eine aussergewöhnlich grosse Totalexursion. Nur bei deutlicher Ruhedyspnoe (Nr. 7) ist die RE beträchtlich vergrössert. Bei einer Patientin ist zwar die Totalexursion am Thorax nur 15 mm, die Vitalkapazität 1,5 L, trotzdem ist weder die RE noch die Totalexursion am Zwerchfell vergrössert (Nr. 8).

Bei zwei Fällen mit starker Skoliose der Brustwirbelsäule (Nr. 13, 20) zeigen die Totalexursionen am linken und rechten Zwerchfell keine auffallenden Unterschiede.

Auch bei starker Einschränkung der Thoraxexcursion auf total 15 mm ist die RE und die Totalexursion am Zwerchfell nicht vergrössert (Nr. 17). Bei Nr. 20 und 21 ist die iE sehr klein. Während aber bei Nr. 20 am Thorax die iE gross ist, wird bei Nr. 21 gerade umgekehrt eine grosse eE gemessen bei kleiner iE.

Bei zwei Fällen mit alter einseitiger Phrenicusexhairese besteht an diesem Zwerchfell keine paradoxe Bewegung, aber die RE und die Totalexursion ist stark eingeschränkt.

Bei einer Patientin stellt sich die Frage, ob die ungewöhnliche Form und deutlich verkleinerte RE am rechten Zwerchfell (Nr. 26) mit einer früher erlittenen commotio cerebri in Zusammenhang steht (Beobachtungen über einseitig veränderte Zwerchfellbeweglichkeit nach Schädeltrauma). Eine Pleuritis ist später nicht aufgetreten.

Eine bei maximaler Expiration auftretende paradoxe Zwerchfellbewegung konnte ich nur einmal beobachten, und es ist sicher kein Zufall, dass dieser einzige Fall gerade ein Asthma bronchiale betrifft (Nr. 27). Bei der zweiten Messung bewegen sich nämlich beide Zwerchfelle bei maximaler Expiration um 5 mm in caudaler Richtung.

Eine 76jährige Patientin (Nr. 19) weist an ihrem linken Zwerchfell mit 120 mm die grösste Totalexursion auf, die ich je gemessen habe. Ein technischer Fehler ist ausgeschlossen. Die zweite Messung ergibt am linken Zwerchfell fast auf den Millimeter gleich grosse Totalexursion wie bei der ersten, nur ist das Verhältnis der iE zur eE zugunsten der iE verschoben, offenbar weil das linke Zwerchfell etwas höher steht als bei der ersten Messung. Es ist ein Fall, an dem die Frage der «pathologisch grossen Zwerchfellexcursion» diskutiert werden kann.

Eine pathologisch grosse Zwerchfellexcursion soll nicht vorkommen (K. Hitzenger, F. Jamin). Wohl werden aber vergrösserte Zwerchfellexursionen beschrieben bei eingeschränkter Rippenbewegung, bei Skoliose, bei Seitenlage (F. Jamin) oder schliesslich

«kompensatorisch» bei einem einseitigen Prozess am Thorax. Nach G. A. Weltz gibt es eine pathologisch grosse Zwerchfellatmung, aber nicht als Zeichen einer Erkrankung des Zwerchfells selbst, sondern einer Erkrankung des kostalen Atemapparates und der Wirbelsäule mit ihren Muskeln. Eine typische Erkrankung dieser Art besteht zwar bei meiner Patientin nicht, aber die Thoraxexcursion ist bei ihr eingeschränkt auf total 25 mm, die Wirbelsäule ist vermehrt kyphotisch, aber kaum skoliotisch. Es müssen noch andere Faktoren als allein die Behinderung der thorakalen Atmung beim Zustandekommen der grossen Excursion eine Rolle spielen, denn bei anderen Patienten mit stark eingeschränkter Thoraxexcursion und teils geringen, teils deutlichen röntgenologischen Lungenveränderungen fand ich oft keine besonders grossen Zwerchfellexcursionen.

F. Jamin vertritt mit Holzknecht die Ansicht, dass eine einseitige Vermehrung der respiratorischen Zwerchfellverschiebungen stets auf eine krankhafte Störung auf der anderen Seite schliessen lasse. Eine einseitige, pathologische, aktive Zunahme der Zwerchfellaktion soll es nicht geben, nur eine vikariierend eintretende Steigerung der Zwerchfellhebung und -senkung.

Bei meiner Patientin liegt nun auf der Gegenseite ein deutlicher pathologischer Lungenbefund vor, aber die Zwerchfellexcursion ist auf dieser trotzdem ziemlich gross, sodass nicht ohne weiteres von einer vikariierend eintretenden Zwerchfellaktion der linken Seite gesprochen werden kann. Es muss auch beachtet werden, dass die Ruheamplitude beidseits überdurchschnittlich gross ist, dabei ist die Patientin kaum dyspnoisch. Den Hauptanteil an der grossen Totalexursion hat die eE, auch auf der rechten Seite ist das so. Es sieht so aus, als ob das Zwerchfell bei dieser Patientin mehr erschlaffen könnte als bei anderen Personen.

Die möglichen Variationen der Beweglichkeit und des Standes des Zwerchfells sind beim gesunden Menschen schon so gross, dass es schwierig ist zu beurteilen, ob eine Veränderung pathologisch bedingt ist oder nicht. So kann z. B. bei einer miliaren Aussaat das Zwerchfell tief stehen, sich bei maximaler Expiration übermässig nach oben bewegen und bei maximaler Inspiration kaum weiter nach unten treten als bei ruhiger Einatmung. Genau das gleiche Verhalten kann aber bei einem bestimmten Körperbau in ganz gesundem Zustand als persönliche Eigenart vorkommen. In einem solchen Fall kann unter Umständen die Messung der Thoraxamplituden weiteren Aufschluss geben (vgl. 20 und 21).

Es können folgende Regeln aufgestellt werden, die beim gesunden Menschen fast immer erfüllt sind:

1. Die rechte Zwerchfellkappel steht nicht tiefer als im dorsalen Teil des 10. ICR und nicht höher als im 8. ICR. Das rechte

Zwerchfell steht nicht mehr wie 20 mm höher als das linke. Das linke Zwerchfell kann bei vermehrtem Gasgehalt im Abdomen höher stehen als das rechte.

2. Beim Erwachsenen beträgt die Totalexursion mindestens 70 mm und weist zwischen rechtem und linkem Zwerchfell keine grossen Differenzen auf.
3. Die eE ist am rechten Zwerchfell meistens grösser als am linken, die iE ist am rechten Zwerchfell häufig kleiner als am linken. Am rechten Zwerchfell kommt häufiger und deutlicher pseudoparadoxe Atembewegung vor als am linken.
4. Die RE ist am linken Zwerchfell meistens grösser als am rechten und beträgt mindestens 10 mm.
5. Die eE und die iE können ganz verschiedene Grössenverhältnisse zueinander aufweisen. Die iE kann sehr klein sein, sie kann fast Null betragen. Die eE beträgt stets mindestens 20 mm.
6. Eine paradoxe Bewegung bei maximaler Expiration kommt nicht vor.
7. Totalexursion und Amplitudenverhältnis bleiben bei einer bestimmten Person längere Zeit in engen Grenzen konstant.
8. Tritt durch Vermehrung des Gasgehaltes im Abdomen ein Zwerchfellhochstand ein, so nimmt die iE zu, die eE nimmt ab.

Bei Beachtung dieser Regeln kann man sich einigermaßen vor falscher Beurteilung der Zwerchfellbeweglichkeit schützen. So wird z. B. nicht selten eine verminderte oder aufgehobene Zwerchfellbeweglichkeit diagnostiziert, wo es sich in Wirklichkeit nur um einen Fall mit kleiner iE bei grosser eE handelt oder mit pseudo-paradoxe Bewegung am rechten Zwerchfell.

IV. 22 Erwachsene mit Pneumothorax wegen cavernöser Lungentbe

16 Fälle mit einseitigem Pneumothorax:

	eE	RE	iE	Tot.
1. <i>M. w.</i> , Pneu links, Anlage vor mehreren Jahren, nur noch schmaler Mantelpneu, nach Füllung, R 40/L	55 0	20 5	0 0	75 5
2. <i>Sp. w.</i> , Pneu rechts, Anlage vor 4 Jahren, nach Füllung L 25/R	0 20	0 20	0 18	0 58
3. <i>R. w.</i> , Pneu links, Anlage vor 1½ Jahren, nach Füllung R 40/L	30 0	15 5	20 25	65 30

	eE	RE	iE	Tot.
4. <i>G. w.</i> , Pneu rechts, Anlage vor 4 Wochen, nach Füllung, L 26/R	24 31	6 21	0 17	30 69
5. <i>E. w.</i> , Pneu rechts, Anlage vor 10 Monaten, 5. Tag nach Füllung, R=L	25 26	10 10	0 22	35 58
6. <i>K. w.</i> , Pneu links, Anlage vor 1 Jahr, 13. Tag nach Füllung, R 33/L	52 35	16 22	0 14	68 57
7. <i>D. m.</i> , Pneu rechts, seit 3 Jahren, 28. Tag nach Füllung L 9/R	26 39	15 26	0 14	41 79
8. <i>Sch. w.</i> , Pneu rechts, seit 2 Jahren, R=L	23 45	7 17	5 12	35 74
9. <i>Bl. w.</i> , Pneu links, Restpneu mit zahlreichen Verwachsungen und Verschwartung, R 24/L	33 20	12 24	15 19	60 63
10. <i>B. w.</i> , Pneu links, nach Füllung, R 28/L	32 12	13 2	10 15	55 29
11. <i>Fr. m.</i> , Pneu rechts, Asthma bronchiale, nach Füllung L 10/R	10 10	30 40	5 20	45 70
12. <i>R. w.</i> , Pneu rechts seit 8 Monaten, nach Füllung R 10/L	4 20	10 10	5 15	19 45
2. Tag nach Füllung, R 14/L	8 20	12 17	6 8	27 45
13. <i>Th. w.</i> , lateraler Restpneu rechts, Füllung mit pos. Enddruck, nach Füllung, R 17/L	15 24	0 18	13 30	28 72
5 Monate später, nach Füllung, R 14/L	3 26	12 25	6 19	21 70
14. <i>Fl. w.</i> , Pneu links seit 3 Jahren, 3. Tag nach Füllung R 23/L	25 8	15 17	8 5	48 30
9. Tag nach Füllung, R 37/L	30 10	17 16	15 0	62 26
15. <i>L. w.</i> , Pneu rechts seit 2 Monaten, 3. Tag nach Füllung L 7/R	27 35	10 18	0 16	37 69
6. Tag nach Füllung, R 3/L	24 34	10 17	0 7	34 58
16. <i>H. w.</i> , Pneu rechts seit einem Monat, nach Füllung, L 20/R	0 15	0 27	0 0	0 42
3. Tag nach Füllung, L 7/R	28 24	5 17	5 16	38 57

Die Totalexursion beträgt mit einer Ausnahme auf der Pneu-seite immer weniger als 60 mm. Diese Ausnahme betrifft einen verschwarteten Restpneu. Die Totalexursion auf der dem Pneu gegen-

überliegenden Seite beträgt in der Mehrzahl der Fälle weniger als 70 mm. Eine «kompensatorisch vergrösserte» Excursion kann auf dieser Seite nie beobachtet werden.

Bei 6 Fällen mit linksseitigem Pneumothorax steht das Zwerchfell rechts über 20 mm höher als links. Bei 10 Fällen mit rechtsseitigem Pneu steht das linke Zwerchfell in 6 Fällen höher als das rechte und in 2 Fällen gleich hoch, ferner in 2 Fällen rechts höher als links. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das rechte Zwerchfell normalerweise höher steht als das linke.

Es mag überflüssig erscheinen, die Verhältnisse des Zwerchfellstandes bei Pneumothorax zu untersuchen, und doch fand ich in einem sehr bedeutenden Werk der Röntgenologie eine Darstellung, welcher meine Befunde widersprechen. A. Zuppinger schreibt, dass beim geschlossenen Pneumothorax das Zwerchfell bei dem in der Pneumothoraxhöhle herrschenden Unterdruck leicht in die Höhe steige. Ferner werde das Mediastinum, wenn überhaupt eine Verlagerung zustande komme, ganz leicht nach der Pneumothoraxseite hinüber verschoben (in: Lehrbuch der Röntgenologie, von H. R. Schinz u. a., 4. Aufl. S. 1369). Es muss sich hier um einen Überlegungsfehler handeln. Wenn man mit der Nadel Luft in den Pleuraraum einfliessen lässt, so nähert sich der Druck darin mehr und mehr dem Atmosphärendruck. Der Druck im Pleuraraum wird nach der Anlage des Pneumothorax grösser als vorher, aber beim üblichen therapeutischen Pneu liegt er noch unter dem Atmosphärendruck, ist also gegenüber diesem negativ und wird daher als Unterdruck bezeichnet. Man muss sich aber klar machen, dass beim sog. Pneumothorax mit Unterdruck auf die Lungenoberfläche, die Thoraxwand und das Zwerchfell sowie das Mediastinum vom Pleuraraum aus ein grösserer Druck wirkt als im Normalzustand. Wenn die Luft zwischen Zwerchfell und Lunge eindringt, so wirkt von oben ein vermehrter Druck auf das Zwerchfell und die Zugwirkung der Lunge kann sich nicht mehr direkt auf das Zwerchfell übertragen. Es tritt darum tiefer, und auch das Mediastinum wird nach der dem Pneumothorax gegenüberliegenden Seite zu verlagert.

Es ist auffallend, dass A. Zuppinger in der 5. Aufl. des selben Lehrbuches dann wiederum die Meinung vertritt, dass beim Pneumothorax mit Unterdruck das Zwerchfell leicht in die Höhe steigen sollte, doch wirke die beim Lungenkollaps auftretende Tonussteigerung diesem Geschehen entgegen, sodass eher ein geringer Tiefstand vorgefunden werde (in: Lehrbuch der Röntgendiagnostik von H. R. Schinz u. a., 5. Aufl., S. 2533). Dass eine Tonussteigerung des Zwerchfells beim Kollaps vorliegt, ist aus Analogie zum Tierversuch wahrscheinlich, doch genügt zur Erklärung des Tiefstandes die Druckänderung im Pleuraraum allein schon.

	cE	RE	iE	Tot.
17. <i>L. w.</i> doppelseitiger Pneu seit 8 und 10 Monaten, Vitalkapazität 0,7 L, maximale Thoraxexcursion 30, nur nach den Füllungen kurze Zeit dyspnoisch	0 0	5 10	0 8	5 18
18. <i>Kr. w.</i> doppelseitiger Pneu seit 5 Jahren, R=L Lunge in Wiederausdehnung begriffen	21 19	12 15	7 11	40 45

2 Fälle mit Seropneumothorax:

19. <i>B. w.</i> Pneu links, linkes Zwerchfell leicht nach oben konkav Mediast. stark nach rechts verlagert, wandert bei Insp. nach links, bei Exsp. nach rechts, R 100/L L 11 ICR.	28 0	14 0	8 0	50 0
--	---------	---------	--------	---------

Trotz der respiratorischen Bewegung der Thoraxwand ist am Spiegel des Ergusses keine Verschiebung erkennbar. Die Bewegung der Thoraxwand überträgt sich hier offensichtlich zur Hauptsache auf das Mediastinum.

20. <i>Bl. w.</i> , Pneu rechts mit ausgedehnter Schwarte, Erguss basal ganz von Lunge begrenzt, Zwerchfell nach oben konvex, R 5/L	23 60	8 11	0 13	31 84
---	----------	---------	---------	----------

Pneumothorax und Schwangerschaft:

21. <i>B. w.</i> , Pneu links Graviditas mens X, 1. Tag nach Füllung, R 20/L	Thorax: 50 40 22		50 10 12	100 60 48
9. Tag nach Füllung, R 9/L, R 10. Rippe	49 37	7 11	11 28	67 76
3 Wochen post partum, 9. Tag nach Füllung R 15/L, R 10. ICR	Thorax: 50 31 21		50 8 13	100 49 45

Die Resultate sind anders als man erwarten würde. Die Excursionen am Thorax sind kurz vor und nach der Geburt gleich. Während man am Zwerchfell eine starke Einschränkung der Beweglichkeit durch den Abdominalinhalt erwarten würde, ist die Totalex-cursion bei ca. gleichem Füllungszustand des Pneus nach der Geburt kleiner als vorher. Das Zwerchfell steht nach der Geburt nur um einen halben ICR tiefer als vor der Geburt. Am linken Zwerchfell werden bei der 1. und 3. Messung fast gleiche Werte gemessen. Bei Druckvermehrung über und unter dem Zwerchfell (frisch gefüllt + gravid) bestehen also fast gleiche Amplituden wie bei Druckvermin-

derung über und unter dem Zwerchfell (geringe Füllung + post part).

Überdruckpneumothorax

	eE	RE	iE	Tot.
22. F. w., apikaler Pneu links mit Überdruck, Enddruck	36	10	2	48
stets um +40 cm Wasser, direkt nach Füllung, R 22/L	45	10	8	63
3. Tag nach Füllung, R 8/L	35	12	3	50
	30	14	16	60
9. Tag nach Füllung, R 19/L	24	16	10	50
	28	12	18	58
12. Tag nach Füllung, R 18/L	22	14	23	59
	16	15	33	64

Trägt man die iE und die eE des rechten und linken Zwerchfells in zeitlicher Reihenfolge in einem Diagramm auf, so zeigt sich klar, wie die iE zu-, die eE abnimmt. Diese charakteristische Änderung der Amplituden beschränkt sich nicht etwa nur auf die Seite des Überdruckpneus, sondern ist in genau gleicher Weise auch am anderen Zwerchfell zu verfolgen. Ein solches Verhalten kann nicht allein auf die mechanische Wirkung des sich ändernden Druckes im linken Pleuraraum zurückgeführt werden. (Vor den Füllungen werden meist noch schwach positive Druckwerte gemessen.) Das Mediastinum ist bei der Patientin nicht verlagert und ein respirator. Pendeln ist nicht erkennbar. Eine direkte mechanische Beeinflussung des rechten Zwerchfells durch den Druck im linken Pleuraraum ist unwahrscheinlich. Die Erklärung für dieses Verhalten der Amplituden muss vielmehr in einer übergeordneten, wahrscheinlich reflektorischen Beeinflussung des Zwerchfells gesucht werden.

V. Zwerchfellbewegung bei Anwendung der Elektrolunge

Messung der Zwerchfellamplitude bei 3 Versuchspersonen in Rückenlage bei dorsoventralem Strahlengang. Schirm. Person und Röhre fest. Schirm-Röhrendistanz 70 cm. Bielektrode für Insp. am Thorax. am Abdomen und über den mm. pectorales je 2 Platten-elektroden (nach Vorschrift). Plattenelektroden für Expiration. Frequenz 16. Messung des Markenabstandes in Millimeter vom cranialen Rand des Schirmes.

Reizstrom	ma exp. insp.		rechtes Zw. Markenabst. Ampl. exp. insp.			linkes Zw. Markenabst. Ampl. exp. insp.		
1. Dr. B.								
a) ohne Strom	0	0	120	145	25	170	205	35
b) schwach	0.2	0.3	120	133	13	170	205	35
c) stark	0.5	0.8	115	140	25	167	203	36
2. Dr. H.								
a) schwach	0.3	0.6	110	123	13	128	146	18
b) stark	0.8	1.2	107	117	10	126	153	27
c) exp. stark	1.2	0.3	102	112	10	130	145	15
3. K. m. Bronchitis asthmatica								
a) schwach	0.3	0.5	195	204	9	205	227	22
b) stark	0.8	1.0	196	205	9	205	220	15
c) mittel	0.6	0.8	197	207	10	203	220	17

Bei 3. c) sind die Plattenelektroden absichtlich asymmetrisch angelegt worden.

Resultate:

1. Bei allen drei Personen steht im Liegen das rechte Zwerchfell höher als das linke.
2. Der exp. Zwerchfellstand ändert sich praktisch nicht, ausser bei Nr. 2, wo bei starkem exp. Strom, und bei Nr. 1, wo bei starkem in- und exp. Strom das rechte Zwerchfell um wenig weiter nach cranial geht als bei den übrigen Messungen.
3. Die Amplitude bleibt bei Nr. 1 am linken Zwerchfell mit und ohne Strom genau gleich gross, am rechten Zwerchfell ist sie mit starkem und ohne Strom ebenfalls gleich. Bei Nr. 2 und 3 bleibt die Amplitude am rechten Zwerchfell bei allen Messungen fast gleich gross.
4. Bei asymmetrischer Anlage ist das Resultat praktisch gleich wie bei symmetrischer Anlage und starkem Strom.

Nach F. Jamins's othodiographischen Zwerchfellmessungen soll in Rückenlage das rechte Zwerchfell bei tiefer Einatmung häufig einen grösseren Ausschlag aufweisen als das linke. Bei diesen drei

Personen sind aber die Amplituden bei der gewöhnlichen Atmung mit und ohne Elektrolunge am linken Zwerchfell bedeutend grösser als am rechten.

Wie von der Herstellfirma der Elektrolunge angegeben wird, soll bei am Thorax angelegten Elektroden das Zwerchfell direkt durch elektrische Reizung der Muskelfasern beeinflusst werden. Vergleicht man aber die gemessenen Amplituden miteinander, so erscheint eine direkte elektrische Reizung des Zwerchfells durch die Bandlektrode fraglich.

Ein sicherer Effekt des Reizstromes ist dagegen an der Rectusmuskulatur erkennbar, die, wie man sich leicht durch Palpation überzeugen kann, unter dem Einfluss des Stromes sehr hart wird; bei starkem expiratorischem Strom wird diese Muskelkontraktion schmerzhaft, trotzdem kommt aber dadurch kein besonders vermehrter Aufstieg des Zwerchfells in cranialer Richtung zustande.

Wie an der Dehnung des Gummibandes der Bandlektrode erkennbar ist, macht der Thorax bei den meisten Patienten in der Elektrolunge überdurchschnittlich grosse Excursionen. Es ist aber schwer festzustellen, ob es sich dabei um eine Wirkung der Elektrolunge oder um ein willkürlich verstärktes Mitatmen handelt. Diese Frage könnte eventuell in Narkose geklärt werden. Es wäre noch möglich, dass die Bewegung des Zwerchfells durch Verlagerung seiner Ansatzpunkte infolge vermehrter thorakaler Atmung in der Elektrolunge kompensiert würde.

Zusammenfassung

Nach Darstellung der verschiedenen am Zwerchfell wirkenden Kräfte werden die in der Literatur vorhandenen Angaben über Stand und Bewegungsgrösse des Zwerchfells miteinander verglichen und anhand der eigenen Untersuchungen beurteilt. Es wird gezeigt, dass über die Rolle des Zwerchfells bei der Atmung im Verlauf der Zeit verschiedenartige Auffassungen entstanden sind und dass darüber auch heute noch keine einheitliche Anschauung besteht.

In einem 2. Teil werden mit einer einfachen Methode die drei verschiedenen Excursionsgrössen des Zwerchfells an gesunden und kranken Personen gemessen. Mit der angegebenen Methode beträgt die Amplitude im Stehen bei ruhiger Atmung am Gesunden mindestens 1 cm, aber nicht mehr als 2 cm und ist am linken Zwerchfell meistens grösser als am rechten. Die Totalexursion, d. h. die Differenz der Zwerchfellstellung bei den zwei extremen Dehnungslagen der Lunge, der maximalen expiratorischen und der maximalen inspiratorischen, ergibt beim Gesunden 7—11 cm. Bei Lungenkranken ist die Totalexursion häufig eingeschränkt, kann aber ebenso gross sein wie bei Gesunden, und bei einer 76jährigen Patientin wird sogar die grösste Totalexursion gemessen. Anhand dieses Falles wird auf die Frage der sog. pathologisch grossen Zwerchfellexursion eingegangen.

Beim Pneumothorax ist die Totalexursion auf der Pneuseite stark vermindert. Da eine deutliche Einschränkung auch auf der Gegenseite mit kaum veränderter Lunge festzustellen ist, kann es sich dabei kaum allein um die mechanische Auswirkung der Druckerhöhung im Pleuraraum handeln. So ergeben sich auch bei fortlaufenden Messungen an einem Überdruckpneumothorax Resultate, für deren Erklärung nicht nur die direkte mechanische, sondern noch eine, wahrscheinlich auf nervösem Weg erfolgende Beeinflussung des Zwerchfells angenommen werden muss.

Schliesslich werden im Hinblick auf die Bedeutung einer Beobachtung der Zwerchfellbewegung bei der Beurteilung moderner Atemapparate Messungen in der Elektrolunge vorgenommen. Eine sichere Beeinflussung von Stand oder Bewegung des Zwerchfells durch diesen Apparat ist unter den gewählten Verhältnissen nicht zu erkennen.

Literatur:

- Beucler P.*: Contribution à l'étude de la cinématique respiratoire. Diss. Basel 1930.
- Breuer J.*: Die Selbststeuerung der Atmung durch den Nervus Vagus (vorgelegt von E. Hering) Wiener Sitzungsbericht 1868.
- Eppinger H.*: Allgemeine und spezielle Zwerchfellpathologie, in: Lehrbuch der inneren Medizin von G. v. Bergmann, 2. Aufl. Bd. 1.
- Felix W.*: Anatomie der Atmungsorgane, in: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie von A. Bethe u. a., Bd. 2, Berlin 1925.
- Fleisch A.*: Über die Eigenschaften der propriozeptiven Atmungsreflexe, Pflügers Archiv 222, 12., 29.
- Gigon A.*: Atmungsbewegungen, Gaswechsel und Lungentätigkeit, Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften, Vol. 7 (1951), Fasc. 1, pag. 60—70.
- Hess W. R.*: Die Regulierung der Atmung, Leipzig 1931.
- Hitzenberger K.*: Die Bedeutung der Physiologie und Pathologie des Zwerchfells für die Untersuchung am Krankenbett, in: Sonderbeilagen der Wiener klinischen Wochenschrift, Jahrg. 37, Heft 14.
- Hofbauer L.*: Atmungspathologie und Therapie, Berlin 1921.
- Jamin F.*: Zwerchfell und Atmung, in: Lehrbuch und Atlas der Röntgendiagnostik, München 1924, von F. M. Groedel.
- Jamin F.*: Über Stand und Bewegung des Zwerchfells, in: Verhandlungen des Kongresses für innere Medizin, 23. Kongress, München 1906.
- Ken Kuré*: Über den Zwerchfelltonus, in: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, 194. Band, Heft 6.
- Niederer F.*: Klinischer und histologischer Nachweis der Lungenmuskulatur, in: Schweiz. mediz. Wochenschrift 1951, S. 863.
- Polgar F.*: Ist das Zwerchfell ein Inspirationsmuskel? in: Radiologia clinica 1946, Nr. 2, S. 110.
- Polgar F.*: Stellungnahme zur vorstehenden Mitteilung von Prof. Wyss, in: Radiologia clinica 1946, Nr. 4, S. 229.
- Rein H.*: Physiologie des Menschen, Berlin 1938.
- Rohrer F.*: Physiologie der Atembewegung, in: A. Bethe u. a., Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Berlin 1925.
- Rosemann H. U.*: Physiologie des Menschen (Landois-Rosemann, 1950).
- Schinz H. R.*: Lehrbuch der Röntgendiagnostik, 4. Aufl. 1939 u. 5. Aufl. 1951/52
- Schoen R.*: Die Atmung, in: L. Heilmeyer, Lehrbuch der speziellen pathologischen Physiologie, 7. Aufl., 1945.
- Sturm A.*: Ist die Lunge kontraktile? in: Schweiz. mediz. Wochenschrift, 1951, S. 859.
- Wyss O.*: Ist das Zwerchfell wirklich kein Inspirationsmuskel? in: Radiologia clinica 1946, Nr. 4, S. 225.
- Zabel E.*: Das Spiel des Zwerchfells über den Pleurasinus, Berlin 1906.
- Zimmer E. A.*: Die Durchleuchtungstechnik der Thoraxorgane, Basel 1946.



